ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАХ А. Н., ВИЛЬЯМС В. Р., ВОЛЬФСОН М. Б., ГЕНДЛЕР Е. С., ГУБКИН И. М., ДОЛГОВ А. Н., ИОФФЕ А. Ф., ИПАТЬЕВ В. Н., КАГАН В. Ф., КЕРЖЕНЦЕВ П. М., КРЖИЖАНОВСКИЙ Г. М., КРИЦМАН Л. Н., КУЗЬМИНСКИЙ К. С., КУЙБЫШЕВ В. В., ЛАПИРОВ-СКОБЛО М. Я., ЛЕНГНИК Ф. В., ЛИНДЕ В. В., МАРТЕНС Л. К., МЕЩЕРЯКОВ Н. Л., ФЕДОРОВСКИЙ Н. М., ШАТЕЛЕН М. А., ШМИДТ О. Ю.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Л. К. МАРТЕНС

ТОМ ТРИНАДЦАТЫЙ

МЕТИЛОВЫЙ ФИОЛЕТОВЫЙ — МЫШЬЯК

ГОСУДАРСТВЕННОЕ СЛОВАРНО-ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»
МОСКВА ✧ ОГИЗ РСФСР ✧ 1931

ГОСУДАРСТВЕННОЕ СЛОВАРНО-ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»



Редакционная работа по XIII тому ТЭ закончена 15 января 1931 года.

Адрес Редакции Технической Энциклопедии: Москва, Остоженка, 1.
Адрес Конторы Издательства: Москва, Волхонка, 14.

16-я типография «Мосполиграф», Москва, Трехпрудный пер., 9.
Главлит А 72 198. Гиз 7. Тираж 38 000 экз.

РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

РЕДАКЦИОННОЕ БЮРО

Главный Редактор—проф. **Л. К. Мартенс.**

Зам. Гл. Редактора—проф. **М. Б. Вольфсон.** | Зав. Издат. Частью—**К. С. Кузьминский.**

Пом. Гл. Редактора—инж. **Б. Э. Шпринк.** | Ученый Секретарь—**Н. П. Ракицкий.**

НАУЧНЫЕ СОТРУДНИКИ

Кандидат химии **Ельцина Н. М.;** инж. **Знаменский А. А.; Мельников И. И.;** инж. **Мушенко И. Н.;** инж. **Павлушков Л. С.; Ракицкий Н. П.;** инж. **Шпринк Б. Э.;** инж. **Фрязиновский И. А.;** инж. **Эрвальд К. А.;** Зав. библиографией: инж. **Таубман С. И.**

Технические Редакторы: **Гришинский А. С., Карабанов К. В., Никаноров В. М.**

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СЕКТОР

Зав. Производственно-Изд. Сектором: **Стронгин Л. И.;** Зам. Зав. Произв.-Изд. Сектором: **Крейндель А. Д.;** Зам. Зав. Издат. Частью: **Маркус В. А.;** Зав. Иллюстр. Отд.: **Таваststерна В. Я.;** Зав. Худ.-Технич. Отд.: **Варшавский Л. Р.;** Зав. Технич. Редакцией при типографии: **Татиев Д. П.;** Технические Редакторы: **Малкин А. Д., Праведников Н. С.;** Зав. Корректорской: **Чернов Е. А.;** Зам. Зав. Корректорской: **Ошер А. Н.**

СОКРАЩЕНИЯ И СИМВОЛИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I. Метрические меры.

км	километры (1 000 *м*).
м	метры.
дм	дециметры (0,1 *м*).
см	сантиметры (0,01 *м*).
мм	миллиметры (0,001 *м*).
μ	микроны (0,001 *мм*).
mμ	миллимикроны (0,001 *μ*).
μμ	микромикрон (0.000001 *μ*).
км²	квадратные километры.
га	гектары (квадратные гектометры).
а	ары (квадр. декаметры).
м²	квадратные метры.
м³	кубические метры.
дм³	» дециметры.
см³	» сантиметры.
мм³	» миллиметры.
т	метрич. тонны (1 000 *кг*).
ц	центнеры (100 *кг*).
кг	килограммы (1 000 *г*).
г	граммы.
дг	дециграммы (0,1 *г*).
сг	сантиграммы (0,01 *г*).
мг	миллиграммы (0,001 *г*).
μг	микрограммы (0,001 *мг*).
к	караты (200 *мг*).
кл	килолитры (1 000 *л*).
гл	гектолитры (100 *л*).
дкл	декалитры (10 *л*).
л	литры.
дл	децилитры (0,1 *л*).
сл	сантилитры (0,01 *л*).
мл	миллилитры (0,001 *л*).
тм	тоннометры.
кгм	килограммометры.
т/м²	тонны на кв. метр.
кг/см²	килограммы на кв. сантиметр.
м/ск	метры в секунду.
п. м	погонные метры.
рег. т	регистровые тонны.

II. Математич. обозначения.

°	градус.
′	минута, фут.
″	секунда, дюйм.
‴	терция, линия.
>	больше (< меньше).
⩽	не больше (⩾ не меньше).
≅	приблизительно равно.
⩾	больше или равно.
⩽	меньше или равно.
≫	значительно больше.
≪	значительно меньше.
∠	угол, измеряемый дугой.
∥	параллельно.
⊥	перпендикулярно.
÷	от—до.
sin	синус.
tg	тангенс.
sc	секанс.
cos	косинус.
ctg	котангенс.
csc	косеканс.
arc sin	арксинус.
arc tg	арктангенс.
sh	гиперболический синус.
ch	гиперболич. косинус.
th	» тангенс.
⌀	диаметр.
e	основание натуральных логарифмов.
lg	логарифм десятичный.
ln	» натуральный.
lim	предел.
Const	постоянная величина.
$\sum$	сумма.
$\int$	интеграл.
~	приблизительно.
∞	бесконечность.
d	полный диференциал.
∂	частный »

III. Международные символы.

а) Единицы.

A	ампер.
Ah	ампер-час.
W	ватт.
Wh	ватт-час.
kW	киловатт.
kWh	киловатт-час.
V	вольт.
mV	милливольт.
VA	вольт-ампер.
kVA	киловольт-ампер.
mA	миллиампер.
Ω	ом.
MΩ	мегом.
μΩ	микроом.
C	кулон.
VC	вольт-кулон.
H	генри.
J	джоуль.
F	фарада.
μF	микрофарада.
Å	ангстрем.
D	дина.
Cal	калория большая.
cal	» малая.
HP	лошадиная сила.
lm	люмен.
lx	люкс.
m	мюрг.

б) Величины.

$t°$	температура обыкновен.
$T°$	» абсолютная.
$t°_{кип.}$	температура кипения.
$t°_{пл.}$	» плавления.
$t°_{заст.}$	» застывания.
$t°_{отв.}$	» отвердевания.
$t°_{крит.}$	» критическая.
atm	атмосфера техническая.
Atm	» барометрич.
I	сила тока.
Q	электрич. заряд, количество электричества.
E	электродвижущая сила.
V, U	напряжение, потенциал.
A	работа.
W	энергия.
N	мощность.
T	период колебания.
f, ν	частота.
ω	угловая скорость, угловая частота.
Ω	боковая частота.
λ	длина волны.
φ	сдвиг фазы.
L	самоиндукция.
C	емкость.
R	сопротивление активное (ваттное).
ε	диэлектрич. постоянная.
μ	магнитн. проницаемость.
ϱ	удельное сопротивление.
σ	удельная проводимость.
δ	декремент затухания.
Φ	магнитный поток.
H_{Br}	твердость по Бринелю.
$A_{c_1}, A_{c_2}, A_{c_3}$ / $A_{r_1}, A_{r_2}, A_{r_3}$	критич. точки железн. сплавов.
g	ускорение силы тяжести.
l	длина.
m	масса.
$D^{t_1}_{t_2}$	уд. вес при $t_1°$ по отношению к воде при $t_2°$.
[α]; $[\alpha]_D$	угол вращения плоскости поляризации.
$C_н.$; [H·]	концентрация водородных ионов.
pH; $P_н$	водородн. показатель.
$^1/_1 N$	нормальный раствор.

IV. Основные сокращения.

фт.—футы.
дм.—дюймы.
кц.—килоцикл.
ц.—цикл.
св.—свеча.
об/м.—обороты в минуту.
п-вс.—пудоверсты.
п-фт.—пудофуты.
фт/ск.—футы в секунду.
чв-д.—человекодни.
чв-ч.—человекочасы.
долл., $—доллары.
мар.—марки.
фн. ст., £—фунты стерлингов.
фр.—франки.
шилл.—шиллинги.
млн.—миллионы.
млрд.—миллиарды.
ч.—часы.
м., мин.—минуты.
ск.—секунды.
°Bé—градусы Боме.
°Э.—градусы Энглера.
Градусы температ. шкал:
°К—Кельвина.
°С, °Ц.—Цельсия (100°-й).
°Р.—Реомюра.
°Ф.—Фаренгейта.
t°—температура по 100°-ной шкале (С).
t° Р.—температура по Реомюру.
t° Ф.—температура по Фаренгейту.
абс. ед.—абсолютная единица.
ат. в.—атомный вес.

Aufl.—Auflage.
B.—Band, Bände.
v.—volume, volumes.
вкл.—включительно.
гг.—годы, города.
д.—деревня, долгота.
д. б.—должно быть.
ж. д.—железная дорога.
з.-европ.—западноевропейский.
з-д—завод.
изд.—издание.
ин-т—институт.
Jg.—Jahrgang.
кпд—коэфициент полезного действия.
к-рый—который.
к-та—кислота.
Lfg—Lieferung.
м—мета (хим.).
м. б.—может быть.
м. г.—минувшего года.
меш (mesh)—число отверстий в ситах на лин. дюйм.
мн-к—многоугольник.
мол. в.—молекулярный вес.
нек-рый—некоторый.
о—орто (хим.).
об-во—общество.
о-в—остров.
п—пара (хим.).
р.—pagina, paginae (лат.—страница, страницы).
пром-сть—промышленность.
проф.—профессор.
SK—зегеровские конуса.
С., Ю., В., З.—север, юг, восток, запад.
с.-з., ю.-в.—северо-западный, юго-восточный.
стр.—страницы.
т.—том, томы.
t.—tome, tomes.
T.—Teil, Teile.
тв.—твердость.
т-во—товарищество.
темп-ра—температура.
т. н.—так называемый.
тр-к—треугольник.
уд.—удельный.
уд. в.—удельный вес.
ур-ие—уравнение.
У. П.—Урочное положение.
u. ff.—und folgende.
ф-ия—функция.
ф-ка—фабрика.
ф-ла—формула.
H.—Heft, Hefte.
хим. сост.—химический состав.
ц. т.—центр тяжести.
Ztg—Zeitung.
Ztrbl.—Zentralblatt.
Ztschr.—Zeitschrift.
ш.—широта.
эдс—электродвижущая сила.
эфф.—эффективный.
Ан. П.—английский патент.
Ам. П.—американский »
Г. П.—германский »
Р. П.—русский »
Сов. П.—советский »
Ф. П.—французский »
B.—Berlin.
Brschw.—Braunschweig.
L.—London.
Lpz.—Leipzig.
Mch.—München.
N. Y.—New York.
P.—Paris.
Stg.—Stuttgart.
W.—Wien.
Wsh.—Washington.
Л.—Ленинград.
М.—Москва.
П.—Петроград.
СПБ—Петербург.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НАЗВАНИЙ РУССКИХ И ИНОСТРАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ, ОБЩЕСТВ, ФИРМ

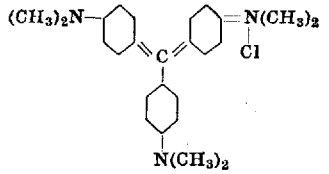
«АзНХ»—Азербайджанское нефтяное хозяйство, Баку.
БМЭ—Большая медицинская энциклопедия, Москва.
БСЭ—Большая советская энциклопедия, Москва.
«ВВ»—Военный вестник, Москва.
«ВВФ»—Вестник воздушного флота, Москва.
«ВИ»—Вестник инженеров, Москва.
«ВС»—Вестник стандартизации, Москва.
«ВТ»—Вопросы труда, Москва.
«ГЖ»—Горный журнал, Москва.
«ГТ»—Гигиена труда, Москва.
«Ж»—Журнал Русского физико-химического об-ва, Ленинград.
«ЖРМО»—Журнал Русского металлургического об-ва, Ленинград.
«ЖХП»—Журнал химической промышленности, Москва.
«ИТИ»—Известия Теплотехнического института им. проф. В. И. Гриневецкого и К. В. Кирша, Москва.
«ИТПТ»—Известия текстильной промышленности и торговли, Москва.
«МС»—Минеральное сырье, Москва.
«МХ»—Мировое хозяйство и мировая политика, Москва.
«НИ»—Нерудные ископаемые, Ленинград.
«НХ»—Нефтяное хозяйство, Москва.
ОСТ—Общесоюзные стандарты, Москва.
«ПТ»—Промышленность и техника, СПБ.
«ПХ»—Плановое хозяйство, Москва.
«СГ»—Социальная гигиена, Москва.
«СП»—Строительная промышленность, Москва.
Спр. ТЭ—Справочник физических, химических и технологических величин, Москва.
«СТ»—Санитарная техника, Москва.
«СХ»—Социалистическое хозяйство, Москва.
«ТД»—Торфяное дело, Москва.
«ТиТбП»—Телеграфия и телефония без проводов, Н.-Новгород.
«Труды ГЭЭИ»—Труды Гос. экспериментального электротехнич. ин-та, Москва.
«Труды НАМИ»—Труды Научного автомоторного института, Москва.
«Труды НИУ»—Труды Научного института по удобрениям, Москва.
«Труды ЦАГИ»—Труды Центрального аэрогидродинамического ин-та, Москва.
ТЭ—Техническая энциклопедия, Москва.
«УФН»—Успехи физических наук, Москва.
«ХД»—Хлопковое дело, Москва.
«AAZ»—Allgemeine Automobil - Zeitung, Wien.
«A. Ch.»—Annales de Chimie et de Physique, Paris.
AEG—Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.
AGFA—Aktien-Gesellschaft für Anilin-Fabrikation, Berlin.
«Am. Soc.»—Journal of the American Chemical Society, Easton, Pa.
«Ann. d. Phys.»—Annalen der Physik, Lpz.
«Ann. Min.»—Annales des Mines, Paris.

«B»—Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Berlin.
BAMAG—Berlin-Anhaltische Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft, Dessau.
BASF—Badische Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen a/R.
BEAMA—The British Electrical and Allied Manufacturers Association, London.
«B. u. E.»—Beton und Eisen, Berlin.
Bayer—Farbenfabriken vorm. Fr. Bayer & Co., Köln a/R.
«Ch. Ind.»—Chemische Industrie, Berlin.
«Ch.-Ztg»—Chemiker-Zeitung, Cöthen.
«Ch. Ztrbl.»—Chemisches Zentralblatt, Berlin.
«CR» — Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris.
DIN—Deutsche Industrie-Normen.
«Dingl.»—Dinglers polytechnisches Journal, Berlin.
«EChZ»—Elektrochemische Zeitschrift, Berlin.
«EMA»—Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau, Berlin.
«EuM»—Elektrotechnik und Maschinenbau, Wien.
«ETZ»—Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
«GC»—Génie Civil, Paris.
Handb. Ing.—Handbuch der Ingenieurwissenschaften, herausgegeben von L. Willmann, Th. Landsberg, E. Sonne, in 5 Teilen, 1910—25, Leipzig.
«I. Eng. Chem.»—Industrial and Engineering Chemistry, Easton, Pa.
I. G. Farben—Interessengemeinschaft Farben-Industrie A.-G., Leverkusen b. Köln a/R.
«JAIEE»—Journal of the American Institute of Electrical Engineers, New York.
«J. Ch. I.»—Journal of the Society of Chemical Industry, London.
«Lieb. Ann.»—Liebigs Annalen der Chemie, Berlin.
«Mitt. Forsch.» — Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Berlin.
«MuM»—Wochenschrift für die gesamte Müllerei und Mühlenbau-Industrie, München.
NDI—Normenausschuss der deutschen Industrie.
«PeKa»—Fachblatt für Parfümerie und Kosmetik, München.
«RGÉ»—Revue Générale de l'Électricité, Paris.
«Soc.»—Journal of the Chemical Society, London.
«St. u. E.»—Stahl und Eisen, Düsseldorf.
Ullm. Enz.—Enzyklopädie der technischen Chemie, herausgegeben von F. Ullmann, Wien—Berlin, 1915—1923, 2 Auflage erscheint ab 1928.
«WeTeZ»—Westdeutsche Textil-Zeitung, Elberfeld.
«Z. ang. Ch.»—Zeitschrift für angewandte Chemie, Berlin.
«Z. d. VDI»—Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin.
«ZFM»—Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, München.

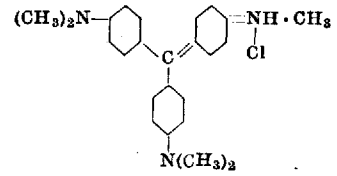
В тринадцатом томе ТЭ помещены 905 иллюстраций в тексте и девять вкладок к статьям: «Метрополитен» — 3, «Микроструктура» — 5 и «Мукомольные мельницы» — 1.

М

МЕТИЛОВЫЙ ФИОЛЕТОВЫЙ, м е т и л в и о л е т, основной метиленхинонный краситель, представляющий алкильные, преимущественно метильные производные фуксина. В зависимости от числа метильных групп в продаже имеются различные марки М. ф., отличающиеся своим цветом. Увеличение числа метильных групп вызывает постепенный переход цвета к синему. Наиболее распространенными марками М. ф. являются: гексаметильное производное фуксина



называемое также к р и с т а л л и ч е с к и м ф и о л е т о в ы м; получается при конденсации кетона или гидрола Михлера (из фосгена и диметиланилина) с диметиланилином, представляет собой фиолетово-синий краситель весьма чистого оттенка; пентаметильное производное



выпускаемое в продажу под названием м е т и л о в о г о ф и о л е т о в о г о 5 В, в смеси с гекса- и тетрапроизводным получается при окислительной конденсации диметиланилина в присутствии значительных количеств поваренной соли, медного купороса и фенола или уксусной кислоты. Медные соли играют при этом роль катализатора. Одна из метильных групп диметиланилина, отщепляясь в виде, очевидно, формальдегида, служит основанием для центрального трифенилметанового углерода. Получение красителя ведется в специальных аппаратах, приспособленных к хорошему перемешиванию массы и снабженных регулирующей арматурой для доступа воздуха и регулировки $t°$, к-рая не должна превышать 55°. По окончании окисления растворяют смесь в разбавленной соляной к-те и удаляют медь пропусканием сероводорода. Из отфильтрованной жидкости выделяется содой основание красителя, к-рое вновь растворяется в кислоте и упаривается досуха в паровых чренах. Выходы достигают при этом до 100% от всего введенного в реакцию диметиланилина. М. ф. применяется для окраски шерсти, шелка и растительных волокон по таниновой протраве, давая непрочные к свету окраски. Большое применение М. ф. находит для окраски бумаги, кожи, лаков, главн. образом при производстве химических карандашей и копировальной бумаги.

Лит.: F i e r z-D a v i d H. E., Künstliche organische Farbstoffe, Technologie d. Textilfasern, hrsg. v. R. Herzog, B. 3, B., 1926; M ü h l h a u s e r O., Technik d. Rosanilinfarbstoffe, Stg., 1889. **И. Иоффе.**

МЕТИЛОРАНЖ, см. *Гелиантин.*

МЕТИЛЭТИЛКЕТОН, $CH_3 \cdot CO \cdot C_2H_5$, предельный кетон жирного ряда, ближайший гомолог ацетона. Бесцветная подвижная жидкость с приятным эфирным запахом, растворимая в воде, спирте и эфире; $t°_{кип.}$ 78,6°; $t°_{пл.}$ −86°; удельн. вес D_4^{20}=0,816, D_4^0=0,824. М. является одним из продуктов сухой перегонки древесины и он поэтому содержится в подсмольной воде и в древесном спирте-сырце [1]. При техническом получении ацетона из древесного порошка (уксуснокислого кальция) путем пиролиза М. образуется [2] за счет наличия примеси пропионовокислого кальция, распадающегося в смеси с ацетатом кальция по ур-ию:

$$(C_2H_5 \cdot COO)_2Ca + (CH_3 \cdot COO)_2Ca = 2CH_3 \cdot CO \cdot C_2H_5 + 2CaCO_3.$$

Синтетически М. можно получить по всем общим способам получения *кетонов* (см.). Технически М. получается как побочный продукт при производстве древесного ацетона: он составляет главную часть т. наз. «белого ацетонового масла», выделяемого при вторичной перегонке хвостовых послеацетоновых фракций в пределах $t°_{кип.}$ от 70 до 120°. Имелись также предложения изготовлять М. каталитич. дегидрогенизацией метилэтилкарбинола (вторичного бутилового спирта) путем пропускания его паров над восстановленной медью при $t°$ ок. 300° [3]. В 1921 г. Муре и Миньонак [4] показали, что для получения М. по этому методу м. б. использован нормальный бутиловый спирт (являю-

щийся побочным продуктом фабрикации ацетона путем брожения), к-рый при действии крепкой серной к-ты изомеризуется во вторичный бутиловый спирт, а последний легко дегидрогенизуется по методу Сабатье и Сандерена (катализатор—медная пыль). Весь ряд превращений отвечает следующей схеме:

$$\text{I. } \underset{\text{норм. бутиловый спирт}}{CH_3\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot OH} \xrightarrow{-H_2O} \underset{\text{бутилен}}{CH_3\cdot CH_2\cdot CH:CH_2} \xrightarrow{+H_2SO_4} \rightarrow CH_3\cdot CH_2\cdot CH(HSO_4)\cdot CH_3 \xrightarrow{-H_2SO_4} \underset{\text{втор. бутиловый спирт}}{CH_3\cdot CH_2\cdot CH(OH)\cdot CH_3};$$

$$\text{II. } CH_3\cdot CH_2\cdot CH(OH)\cdot CH_3 \rightarrow H_2 + CH_3\cdot CH_2\cdot CO\cdot CH_3.$$

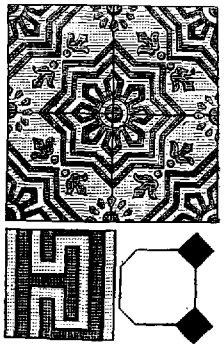
При работе с вполне чистым бутиловым спиртом способ дает удовлетворительные выходы М., но малейшие загрязнения быстро отравляют катализатор. Это затруднение удалось однако почти полностью устранить, разбавляя пары спирта достаточным количеством воздуха.

По химическим свойствам М. очень сходен с *ацетоном* (см.). Для характеристики и идентификации М. служат его фенилгидразон, имеющий $t°_{кип.}$ 190° (при 100 *мм* Hg), и *n*-нитрофенилгидразон с $t°_{пл.}$ 120°.

Технический М. применяется как растворитель (для замены, где это возможно, ацетона). В составе ацетоновых масел он употребляется для денатурации винного спирта. Химически чистый М. служит для получения триопала (см. *Сульфоны*); наконец во время войны 1914—18 годов М. был использован для получения *боевых отравляющих веществ* (см.) слезоточивого действия [5]. В Германии для этой цели с 1915 г. изготовлялся продукт бромирования М. (свободным бромом в присутствии хлоратов—$NaClO_3$ или $KClO_3$), представлявший собою главн. обр. метил-α-бромэтилкетон $CH_3\cdot CO\cdot CHBr\cdot CH_3$. Во Франции (с 1916 г.) бромирование М. велось в присутствии хлората натрия и серной к-ты: получалась смесь, содержавшая около 80% α-монобром- и до 20% α-монохлорпроизводного, к-рая под названием «гомомартонит» применялась в химич. снарядах и минах.

Лит.: [1] Kraemer u. Grodzki, «B», 1876, B. 9, p. 1921; [2] Schramm, «B», 1883, B. 16, p. 1581; [3] King A. T., «Journ. of Chem. Soc. of London», L., 1919, v. 115, p. 1404; [4] Moureu et Mignonac, «Bull. de la Soc. Chimique de France», P., 1921, série 4, t. 29, p. 88; [5] Norris, «I. Eng. Chem.», 1919, v. 11, p. 817. **В. Яновский.**

МЕТЛАХСКИЕ ПЛИТКИ, керамические изделия различной формы (прямоугольной, квадратной, шестигранной или восьмигранной), изготовленные сухим прессованием (содержат 5—7% влажности) глиняного порошка. Череп М. п. вполне склинкерован и имеет раковистый излом, лицевая сторона плиток делается одноцветной или узорчатой, гладкой, шагреневой или с вдавленными рисунками (фиг. 1.). М. п. применяются для настилки полов. Свое название М. п. получили по месту завода Вильруа и Бох в Метлахе, где впервые их начали выделывать. Метлахские плитки изготовляют различных размеров: квадратные—145×145×14 *мм* и 170×170×18 *мм*; восьмигран. неравносторонние—145×145×50×14; восьмигранные равносторонние—170×170×70×18; вкладыши к восьмигранным плиткам—50×50×10; 70×70×15; косяк вкладыша—50×50×10; 70×70×15 *мм* и т. д. Отклонения размеров по длине и ширине не д. б. более 2 *мм*. М. п. должны обладать большей твердостью, чем большинство естественных каменных пород (гранит, гнейс, кварц, базальт и др.) и не ниже 7 (тв. кварца) по шкале Моса. Водопоглощение не должно быть более 0,1% от веса сухой плитки, а для красных плиток не более 1,75%. Щелочи и кислоты на М. п. не должны влиять. При нахождении М. п. в течение 10 дней в 10%-ном растворе едкого натра, соляной, азотистой или серной кислот череп не должен обнаруживать никаких видимых изменений; только красные плитки, которые содержат железо, могут обнаруживать минимальное растворение. Потери на истирание для плиток всех цветов в аппарате Беме не должны превышать 0,10 *г* с 1 *см*² поверхности, а для плиток красного и желтого цветов—0,20 *г*.



Фиг. 1.

Сырые материалы. Для изготовления М. п. применяются высокосортные огнеупорные пластичные глины однородного состава. Добавками к глинам служат кварц, полевой шпат, магнезит, хромистый железняк, пиролюзит, красный железняк, окиси цинка и кобальта, свинцовые белила и пр. Существуют каолины, из которых можно изготовлять белые плитки без всяких добавок (Австрия и Венгрия). Наилучшими глинами (табл. 1) для указанного производства являются часов-ярские, пласт № 5, 6 и «РВ», николаевская, дружковская и никифоровская. Эти глины после обжига дают слабую или сильную окраску. Кварц вводится в массу в виде мелкого кварцевого песка или с полевым шпатом, содержащим кварц. Кварц отощает массу при сырце, а при обжиге повышает $t°_{пл.}$ и уменьшает усадку. Лучшим кварцевым песком является березовский (станция Березовские минеральные воды близ Харькова) и часов-ярский. Некоторые з-ды в целях облегчения помола кварцевый песок длительно обжигают (ок. 900°). Полевой шпат ($t°_{пл.}$ SK № 7—12) в зависимости от чистоты применяют финляндский, мурманский, уральский, волынский и мариупольский. Магнезит, $MgCO_3$, применяется в качестве добавки в количестве 1—3% для понижения темп-ры спекания массы; от добавки его излом черепа приобретает стекловидность и плитки не коробятся. Хромистый железняк применяется обычно с содержанием окиси хрома до 42—44%. Он идет для приготовления серых и зеленых плиток и красок для них. Пиролюзит применяется для изготовления серых и черных плиток и красок для них. Окись кобальта служит для приготовления голубых, синих и зеленых красок и масс. Окись цинка применяют в качестве добавки для повышения интенсивности окраски окисью кобальта при синих и зеленых плитках и красках. Красный железняк, смешанный с небольшим

количеством окиси кобальта, дает красивый фиолетовый цвет; под влиянием же извести он теряет свою окрашивающую способность. Свинцовые белила применяются как плавень. В табл. 1 приводятся данные химич. анализа важнейших сырых материалов для изготовления М. п.

гидравлический пресс. При разнородных материалах их подсушивают до влажности не более 2%, дробят и направляют в силос. Из силоса материал автоматически особым подавателем забрасывается в шаровую мельницу, затем в находящийся под ней силос и при помощи элеватора—в воздушный сепа-

Табл. 1.—Состав важнейших сырых материалов, идущих для изготовления М. п.

Название сырья	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Щелочей	Потеря при прокал.	$t_{пл.}$, SK	Примечание
Часов-ярская глина «РВ»*1	52,96—56,04	30,54—32,61	1,2 —1,63	0,73—1,45	0,59—2,53	0,22—0,33	—	8,13—10,72	31—32	После обжига дает почти белую плитку
Часов-ярская глина №5*1.	52,43—62,35	31,45—34,16	1,67—1,80	0,73—1,10	1,44—1,54	0,04—0,71	—	9,68—10,00	31—32	То же
» » » №6*1.	51,0 —56,32	30,96—33,39	1,02—1,59	0,59—1,09	0,58—1,29	0,24—0,59	—	8,47—10,64	31—32	То же
Николаевская глина (имеет железистые включения)*2	61,18—60,6	26,46—27,22	2,24—2,10	—	1,50—1,40	0,27—0,48	0,25	8,35—8,55	26—27	После обжига дает желтую плитку
Дружковская глина *3. . .	63,07—68,54	26,21—22,45	0,83—0,87	—	1,22—1,20	Сл. —0,80	1,31	7,36—6,60	27	После обжига дает белую плитку
Никифоровская серая*3 . .	60,89	23,41	5,80	—	1,12	0,9	—	8,03	—	После обжига дает желтую плитку
Никифоровская глина*3 . .	53,47	26,17	10,34	—	0,72	0,61	0,26	8,43	27	После обжига дает красную плитку
Полевой шпат Мариупольский*4	66,34—65,60	18,68—19,16	0,43—0,44	—	1,32—0,55	0,69—0,75	1,3	0,14—0,32		
Песок часов-ярский	98,5 —99,61	0,3—0,5	0,1—0,2	—	0,2 —0,3	Сл.	Воды гигр. 1,2	0,10		

*1 Часов-ярские карьеры Донецкой ж. д. *2 Добывается на карьерах, расположенных вблизи села Рай-Александровский, ок. 22 км от ст. Славянск. Южн. ж. д. Естественный цвет глины темносерый (т. н. николаевская № 1, к-рая после обжига приобретает желтый цвет) и желтый (т. н. николаевская № 3, к-рая после обжига приобретает красный цвет). *3 Карьер расположен в 4 км от ст. Дружковка Южн. ж. д. *4 Окрестности села Никифоровки, в 6 км от ст. Соль (Донбасс).

Глины, идущие для изготовления М. п., большей частью обладают свойством спекаться в клинкерный черепок при температуре 1 150÷1 250°, не деформируясь при этом и не разрываясь (будучи отформованы в плитки) при обжиге. Если глины деформируются при обжиге и спекаются при слишком высоких температурах, к ним приходится добавлять флюсующие вещества: полевой шпат или пегматит в смеси с тонко измельченным кварцевым песком.

Для удешевления производства лицевую поверхность М. п. часто покрывают тонким слоем более благородной, иногда искусственно подкрашенной, глины. При этом весьма важно, чтобы основная масса плиток и поверхностный слой имели согласованную усадку. Добавляемые в массу кварц и полевой шпат (или известковый) понижают $t°$ спекания массы и уменьшают усадку ее. Каолин, наоборот, повышает $t°$ спекания массы. В некоторых случаях, при очень жирных глинах, приходится прибегать к искусственному отощению их, т. е. дегидратации, при 350—400°. Обожженные бракованные плитки могут снова перемалываться с сырыми материалами.

Подготовка массы производится сухим или мокрым способом. По сухому способу при однородных глинах, когда не требуется вводить добавок, глину подсушивают (в сушильных барабанах при $t°$ не выше 100°, в летнее время—на солнце) до содержания 5—7% воды, после чего размалывают под бегунами с автоматическим отсевом или в шаровых мельницах, или в дезинтеграторах, просеивают и посредством элеватора направляют в силос, где она лежит 24—28 часов до приобретения равномерной степени влажности, а оттуда уже в ратор (т. н. селектор). Отсеянный в сепараторе материал направляют под бегуны, далее в силос (на 24 часа), а затем уже он идет на прессование. В одной и той же установке могут размалываться массы родственных цветов. По мокрому способу глины, требующие добавок (флюсующих и красящих веществ), подсушивают, размалывают и элеватором передают в силосы. Кварцевый песок и полевой шпат перед помолом обжигают при $t°$ около 900°. Составные части отвешиваются и смешиваются или выпускаются через дозирующие аппараты в сухой, а затем мокрый смеситель, куда, при цветных сплошных окрасках, добавляется необходимое количество красителя. При узорчатых расцветках цветные массы готовят на небольших бегунах. Смешанная и увлажненная масса часто пропускается несколько раз через гладкие вальцы, а затем через горизонтальный тоншнейдер. Глины, не требующие добавки красящих веществ, разбалтывают с тонко размолотыми полевым шпатом и кварцевым песком (зерна должны проходить через сито в 2 000 отверстий на 1 $см^2$, а в специальных случаях даже через сито в 4 900 отверстий) и полученную массу мембранным насосом передают на фильтр-прессы. Фильтр-прессные «лепешки» пропускают через глиномес и полученные «валюшки» подсушивают до содержания воды от 5 до 7%, а затем размалывают под бегунами с автоматическим отсевом (отверстия в сите не должны иметь диам. больше 3 *мм*). Порошкообразная масса поступает в дальнейшем в силос (где она лежит в течение 24—28 ч.) в просеянном уже виде (для лицевой стороны плиток через сито в 100 отверстий на 5 *п. см*, а для остальной части плиток—в 30 отверстий на такую же длину).

Заготовка красок производится смешением окислов металлов с глинами в барабанах с водой. Избыток воды после смешения отделяется, краска подсушивается, а затем размалывается под специально предназначенными для этого небольшими бегунами. Для голубой и зеленой красок предварительно готовится фритта. Так например, для получения голубой краски 1 ч. окиси кобальта размалывается в мокром барабане с 7 ч. окиси цинка в течение 30 часов; полученную массу подсушивают, а затем обжигают при SK № 5. Продукт обжига размалывается в мокром барабане в течение 18 часов, а затем подсушивается. Для голубой краски берут 24,6 *кг* часов-ярской глины, 615 *г* полевого шпата, 1,23 *кг* молотого кварцевого песка и 770 *г* кобальтовой фритты. Вся масса смешивается и размалывается под небольшими бегунами. В табл. 2 и 3 показаны примерные составы для изготовления белых и окрашенных плиток.

Табл. 2.—Примерные составы для изготовления М. п. (в %).

Материалы	Цвета плиток									
	Белые	Серебристо-серые	Серые	Светло-голубые	Темно-голубые	Красные	Коричневые	Желтые	Зеленые	Черные
Глина	50	53	52	52,5	50	—	8	12	29	—
Кварц	20	23	23	26	20	12	—	6	20	—
Полевой шпат	30	24	23	18	28	4	—	2	14	5
Окись кобальта	—	0,05	—	0,5	2	—	—	—	0,4	—
Хромовый железняк	—	—	2	—	—	—	—	—	0,6	—
Окись цинка	—	—	—	3	—	—	—	—	1	—
Жирная глина	—	—	—	—	—	12	17	18	8	10
Тощая глина	—	—	—	—	—	44	60	62	27	36
Красная охра	—	—	—	—	—	28	—	—	—	47
Красный железняк	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—
Пиролюзит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2

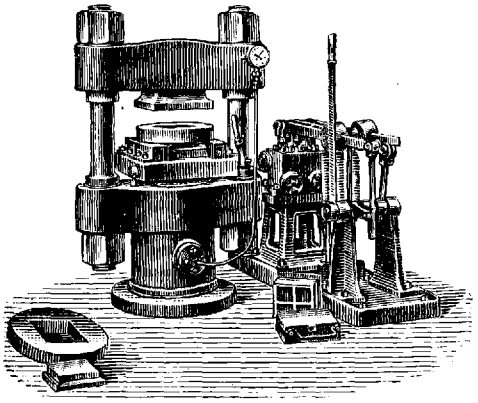
Табл. 3.—Примерные составы для изготовления М. п. (в %).

Материалы	Цвета плиток								
	Белые	Белые	Серые	Голубые	Красные	Коричневые	Желтые	Зеленые светлые	Зеленые темные
Глина часов-ярская № 6 или «РВ»	93	100	92	91,3	—	—	—	40,2	38,90
Глина николаевск. № 1 темносерая (славянская)	—	—	—	—	—	—	100	40,2	38,90
Глина краматорская или николаевская № 3 (желтая славянская)	—	—	—	—	100	96,15	—	—	4,75
Полевой шпат	3,5	—	2,7	2,2	—	—	—	9,27	8,79
Песок кварцевый	3,5	—	2,6	4,6	—	—	—	8,22	6,32
Хромистый железняк	—	—	2,5	—	—	—	—	—	—
Пиролюзит	—	—	—	—	—	3,85	—	—	—
Фритта кобальтовая	—	—	—	1,9	—	—	—	1,95	2,34

Формование. Подготовленная тем или иным способом масса прессуется в плитки большей частью гидравлическими прессами (фиг. 2) с давлением до 280—300 *atm* и в редких случаях фрикционными прессами. Прессование на фрикционных прессах менее удовлетворительно, так как никогда нет уверенности в том, что достигается достаточное давление и удаление воздуха. Плитки прессуются сначала под низким давлением приблизительно в 50 *atm*, чтобы вытеснить находящийся в массе воздух, а затем под высоким давлением (250—300 *atm*), которое достигается в течение 2—3 ск. Средняя производительность старых гидравлических прессов—1 600—1 800 шт. нормального размера плиток за 8 ч. В настоящее время имеются прессы-автоматы (фиг. 3) с производительностью до 5 000 шт. плиток в смену при двух рабочих; так наз. интегральные прессы дают до 22 000 шт. облицовочных плиток в смену при одном рабочем. В форму насыпают тонкий слой глины (для лицевой стороны плиток часто окрашенный), а затем основной слой, после чего масса подвергается прессованию. Края плитки, освобожденной из формы, очищаются и сглаживаются ножом или бруском с наклеенной на нем наждачной бумагой. Бракованные сырцовые плитки используют (из них вырезают углы). Для производства цветных узорчатых плиток в несколько цветов в форму гидравлич. пресса вкладывают сквозные шаблоны, состоящие из тонких латунных или цинковых полосок, отдельные промежутки которых точно отвечают рисунку.

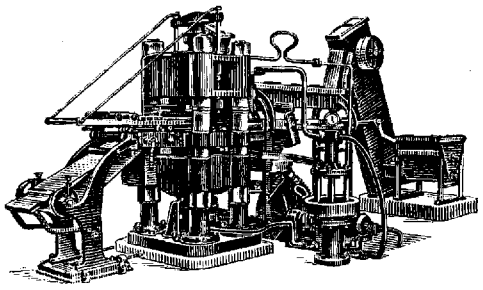
Сушка и обжиг. Сформованные плитки кладут на раму (при туннельных сушилках и туннельном обжиге—непосредственно в капсели) и элеватором подают на сушилку, где их подсушивают при $t°$ ок. 40° в течение 4—5 дней, а затем с влажностью не более 3% направляют на обжиг. Сушилка обыкновенно устраивается над печью. Обжиг плиток производится в четырехугольных капселях; при этом в каждый капсель помещается вертикально 11—12 шт. плиток нормальной величины; дно капселя посыпают кварцевым песком. Лицевые стороны плиток разъединяют (оставляют промежутки 8—

10 *мм*) перекладыванием необожженными клинышками—«гвоздями», чтобы циркуляция газов у лица была равномерной и цвет плитки проявлялся равномерно по всему лицу. Сверху плиток оставляют свободное



Фиг. 2.

пространство высотой до 25 *мм*, чтобы пары воды могли легко уходить. Применяют также капсели без дна (с загнутыми краями) или с перфорированным дном, к-рые устанавливают в сушилке один на другой. Для обжига плиток применяют печи различных систем: 1) периодические с обратным пламенем; эти печи являются наиболее дорогими в эксплоатации; 2) непрерывнодействующие камерные печи, дающие



Фиг. 3.

расход угля на 30% ниже, чем у печей периодич. действия; 3) камерные газовые печи, с расходом угля почти на 40% меньше, чем у периодических; 4) кольцевые газовые печи, в к-рых расход угля почти на 60% меньше, чем у периодических; 5) туннельные газовые печи, в к-рых экономия угля по сравнению с периодич. печами достигает 70%. При постройке новых заводов следует применять туннельные и кольцевые газовые печи (Мендгейма и др.). Обжиг плиток ведется при SK № 4—5, а в некоторых случаях $t°$ доходит до SK № 10. При обжиге в печах Мендгейма в камеру загружают около 10 000 шт. плиток. Загрузка камеры производится в течение одного дня. Подогрев следует вести очень осторожно. Охлаждение обожженного товара должно производиться очень медленно, т. к. при быстром охлаждении плитки растрескиваются и делаются хрупкими. Время от нагрузки до разгрузки колеблется от 15 до 18 дней. Обжиг М. п. производится в окислительном пламени, чтобы не пострадали краски. По данным одного из наших заводов расход горючего для мендгеймовских печей на каждые 1 000 *кг* загрузки (без капселей) составляет около 500—550 *кг* каменного угля. После выгрузки плиток из печи их вынимают из капселей и подвергают тщательной сортировке в смысле правильности формы, оттенков одного и того же цвета, цельности (отсутствия трещин) и т. п.

Брак плиток. После обжига получается М. п. 1-го сорта от 50 до 70%, 2-го—от 30 до 40%, 3 го—от 10 до 15%, брака—от 2 до 5%. Лучший выход получается при обжиге в туннельной печи. Кроме кривизны (для контроля на правильность размеров плиток имеется аппарат G. Dahl) и нарушения целости углов и сторон плиток, полученных частью механическим путем, бывают еще специфические виды брака: сеть мелких трещин, аналогичных цеку *глазури* (см.) или ангоба, черные точки на плитке — выкипи легкоплавких железных силикатов, грязные, не вполне выявленные тона цветных плиток, пузыри на плитках. Плитки, бракованные при прессовании, снова размалываются на бегунах и опять пускаются в прессовку. Брак же, полученный при обжиге, может быть использован только в качестве шамота для капселей и огнеупорных изделий второго сорта или специальных плиток. Плитки с большим содержанием окиси железа или окиси марганца вследствие своей легкоплавкости для переработки на шамот для огнеупорных изделий непригодны.

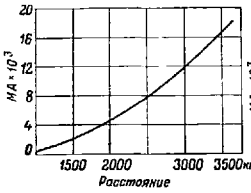
Лит.: 1) «Sprechsaal», Coburg, 1919, p. 181—190; 2) Г. П. 337116, «Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellschaft», B., 1927, B. 8, p. 297.—Будников П. П., Керамическая технология, Харьков, 1927; его же, «Керамика и стекло», М., 1927, *2*, стр. 48; Budnikoff P. P. u. Endowitzky W. J., Die Anfertigung der Bodenplatten, «Tonindustrie-Ztg», Berlin, 1927, *88*, p. 1597; Budnikoff P. P. u. Endowitzky W. J., Production of Floor Tile, «The Ceramic Age», New Jersey, 1928, v. 11, *3*, p. 93; Smith K. M., High Efficiency Developed in Tile Production, ibid., 1929, *1*, p. 8; Dahl G., «Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellschaft», B., 1927, B. 8, H. 6, p. 297; Mucker O., «Tonindusirie-Ztg», 1928, *28*, p. 546. **П. Будников.**

МЕТРАМПЕР, единица момента тока антенны, или—момента излучения, обозначается часто через МА. Моментом (M) тока антенны радиопередающей станции называется произведение силы тока i_∂ антенны в А, взятой в пучности последней, на действующую высоту h_∂, ее же в *м* (см. *Антенна*). Число М. лучше характеризует излучение радиостанции, чем мощность P_A в антенне, т. к. именно момент тока входит основным множителем во все ф-лы радиопередачи (см. *Беспроволочная связь*, *Волны электромагнитные*), учитывающие законы распространения электромагнитных волн.

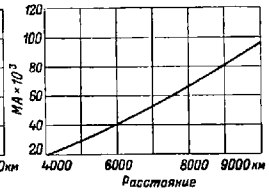
$$M = i_\partial \cdot h_\partial = h_\partial \sqrt{\frac{P_A}{R_A}},$$

где R_A—полное сопротивление антенны, выраженное в Ω, P_A в W. По ф-ле идеальной радиопередачи момент тока в 1 МА создает на расстоянии $d = 2$ *км* при длине волны $\lambda = 500$ *м*, *напряженность* (см.) поля $E = 377$ $(= 120\pi)$ $\frac{\mu V}{м}$. По этой ф-ле $M = \frac{10^{-6}}{337} E \cdot \lambda \cdot d$, ($\lambda$ и d в *м*, E в $\frac{\mu V}{м}$). Международн. конвенция

1929 г. постановила дальность действия судовых радиостанций d определять моментом их излучения, именно: при M=60 МА, d=100 морским милям (160 *км*), при M=45 МА, d=80 морским милям (128 *км*); при M=25 МА, d=60 морским милям (96 *км*). На фиг. 1 и 2



Фиг. 1.



Фиг. 2.

представлены кривые, полученные из практич. наблюдений, выражающие величину момента тока антенны в МА, требующегося для перекрытия радиотелеграфом заданного расстояния в *км*; при этом в месте приема значения напряженности электрич. поля волны получаются в пределах от 30 до 55 $\frac{\mu V}{м}$ (прием днем), и предположено, что длина волны радиопередатчика выбрана, по правилу из америк. практики, равной $^1/_{500}$ расстояния.

Лит.: Banneitz F., Taschenbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telephonie, Berlin, 1927; Hirsch R., «Jahrbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telephonie», B., 1922, B. 19, p. 407.

МЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МЕР, система, в основании к-рой положен метр (обозначения m, *м*) и производные от него единицы других измерений: грамм (g, *г*) и литр (l, *л*). Система разработана в 1791—1799 гг. франц. учеными и инженерами на основе следующих принципов: 1) система мер д. б. основана «на неизменном прототипе, взятом из природы, с тем чтобы ее могли принять все нации», и 2) д. б. построена по десятичной системе. За единицу длины был выбран метр, «равный десятимиллионной части дуги земного меридиана, заключающейся между северным полюсом и экватором». После производства надлежащего измерения этой дуги меридиана были изготовлены эталоны метра «окончательного и истинного» и узаконены 10 декабря 1799 г. (19 фримера VIII г.). Несколько позднее был изготовлен эталон килограмма. Прототипы метра и килограмма, изготовленные из платины, были отданы на хранение в архив Французской республики, а копии этих эталонов, по возможности совершенные, были помещены в Bureau des Longitudes. Уже вскоре после введения М. с. м. во Франции стало ясно, что это не есть система абсолютная и неизменяемая, так как основа системы—метр—не м. б. со всей точностью всегда вполне возобновлена новым измерением дуги меридиана. Позднейшие измерения показали, что «архивный метр» на 0,08 *мм* короче $^1/_{40\,000\,000}$ части земного меридиана. Так как М. с. м. к тому времени получила обширное распространение, то было решено по международному соглашению, во избежание неясности и произвола, совершенно отбросить мысль об идеальном *м* и *кг* и принять за метр—расстояние при 0° между двумя штрихами платинового стержня, который хранится в архиве в Париже (mètre des Archives), а за килограмм—массу платиновой гири, хранящейся там же (kilogramme prototype des Archives). На основе последующих международных соглашений (1870, 1872 и 1875 гг.) в Париже, было создано, поддерживаемое на общие средства научное учреждение «Международное бюро мер и весов» с местопребыванием в Севре близ Парижа. Бюро изготовило ряд новых эталонов метра и произвело тщательное их сравнение с первоначальным эталоном. В 1888 г. один из этих эталонов, как наиболее точно приближающийся к старому, был принят за международный прототип метра. Все новые эталоны метра представляют собой платиново-иридиевые стержни (90% Pt; 10% Ir) с поперечным сечением в виде буквы X. На обоих концах средней полосы стержня, на отполированных местах, нанесены черточки, расстояние между которыми и принимается за метр. Аналогично был выбран и новый международный прототип килограмма. Вследствие этого международный метр определяется теперь как единица длины, первичный эталон которой хранится в указанном выше Бюро в Севре (в здании, которое объявлено международно независимым, или вне франц. территории). Его длина на 0,02% короче вычисленной теоретически. Копии международного метра в количестве 31 были в 1891 г. распределены по жребию между различными государствами, принимавшими участие в создании Международного бюро. По жеребьевке Россия получила два эталона: № 11 (хранится в Академии наук) и № 28 (хранится в Главной палате мер и весов).

За единицу массы (вторая основная единица М. с. м.) была принята масса 1 $см^3$ дистиллированной воды при 0° (позднее при 4°), которая была названа граммом. Кратная ей величина — один килограмм (1 000 *г*), изготовленный Международным бюро в виде цилиндра со слегка закругленными краями из того же сплава, что и образцовые метры, принят как эталон массы—международный килограмм. Изготовленные затем образцовые *кг* были распределены по жребию между странами. Россия получила два эталона: № 12 (хранится в Главной палате мер и весов) и № 26 (хранится в Академии наук). Позднейшие исследования обнаружили, что основной эталон массы отличается от того, который соответствовал его первоначальному теоретич. определению. Поэтому *г* теперь определяется как «одна тысячная доля международного килограмма».

За единицу вместимости (третья основная единица М. с. м.), служащую для измерения жидких и сыпучих тел и названную литром, первоначально приняли объем 1 $дм^3$ воды при 4°. По международному соглашению международный литр определяется как объем одного международного *кг* воды при $t°$ ее наибольшей плотности и при нормальном атмосферном давлении. Международный литр равен 1,00016 $дм^3$.

Основным достоинством М. с. м. является десятичность ее построения. Названия производных единиц составляются по сле-

дующему принципу: к основной единице—*м, г, л*—прибавляются приставки, взятые из греческого языка для кратных мер и из латинского—для подразделений (см. также *Спр. ТЭ*, т. I, стр. 9, 10).

	Приставки	Отношение к основной единице	Междунар. усл. обозначения
Греческие	mega (мега)	10^6	M
	myria (мириа)	10^4	ma
	kilo (кило)	10^3	k
	hecto (гекто)	10^2	h
	deca (дека)	10	dk
Латинские	deci (деци)	10^{-1}	d
	centi (санти)	10^{-2}	c
	milli (милли)	10^{-3}	m
	micro (микро)	10^{-6}	μ

Эти приставки не все одинаково употребительны (говорят чаще 100 *г* вместо гектограмм, не употребительны декаметр и гектометр). Лишь немногие исключения для единиц, позднее введенных в систему, нарушают последовательное применение ее. Сюда относятся:

Наименование единиц	Величина	Условн. обознач.
Центнер (квинтал)	10^2 *кг*	q
Ар	10^2 $м^2$	a
Микрон	10^{-3} *мм*	μ
Стер *	1 $м^3$	st
Тонна	10^3 *кг*	t
Ангстрем	10^{-10} *м*	Å
Икс	10^{-10} *мм*	X

* Для измерения дров; употребляется в немногих странах.

М. с. м. в настоящее время введена законом или имеет частичное распространение по всему земному шару. Причины ее распространения и всеобщего признания лежат в следующем: 1) десятичное построение делает М. с. м. крайне удобной при расчетах и 2) М. с. м. незаменима для международного научного общения как единая и общепонятная система мер с возможно точным воспроизведением единиц.

Когда в начале 19 в. возник вопрос об установлении *абсолютной системы мер* (см.) для всех физических измерений, то по предложению Гаусса в основу этих единиц была положена М. с. м. С тех пор при выборе системы измерений прибегают или к системе «сантиметр, грамм, секунда» (*CGS*), или «метр, килограмм, секунда» (*MKS*). или «метр, тонна, секунда» (*MTS*). См. *Техническая система единиц* и *МТС-система*.

Лит.: Хвольсон О. Д., Метрич. система мер и весов, М.—Л., 1928; Исаков Л. Д., На все времена, для всех народов. Очерки по истории метрич. системы мер, П., 1923; Жуков Г. Д. и Фридман Д. П., Справочник по метрич. системе, 2 изд., М., 1925; Bigourdan G., Le système métrique des poids et mesures, son établissement et sa propagation, Paris, 1901; Guillaume Ch. Ed., La création du Bureau International des Poids et Mesures et son œuvre, Paris, 1927.

МЕТРОНОМ, прибор, служащий для отсчета на-слух небольших промежутков времени; применяется преимущественно в музыке. М. изобретен Мельцелем (Mälzel) в 1800 году и представляет собою физич. маятник с грузом *М* на нижнем конце, который может совершать колебания вокруг оси *О*, находящейся ближе к нижнему концу маятника. Момент инерции маятника можно изменять при помощи подвижного груза *Р*, который может быть установлен на любом расстоянии от оси *О*. Чем дальше отстоит груз *Р* от оси вращения, тем больше момент инерции маятника по отношению к оси и тем больше период его колебаний. При каждом прохождении маятника через среднее положение (или при каждом наибольшем его отклонении) раздается звонок или резкий удар, издаваемый специальным приспособлением, о которое задевает нижний конец маятника. В зависимости от положения груза *Р* на маятнике метронома могут быть отсчитываемы промежутки времени от 6 сек. до 0,1 сек.



П. Беликов.

МЕТРОПОЛИТЕН, городская ж. д. большой скорости, проводимая вне поверхности улиц—либо на *эстакадах* (см.) либо в *туннелях* (см.). В настоящее время М. проложены в Лондоне, Париже, Берлине, Гамбурге, Ливерпуле, Глазго, Вене, Будапеште, Мадриде, Барселоне, Нью Йорке, Чикаго, Бостоне, Филадельфии, Буенос-Айресе, Сиднее, Мельбурне, Токио, Калькутте и других городах, и метрополитенное строительство продолжает широко развиваться.

При сооружении М. часто возникает вопрос о соединении его линий с железнодорожными, однако в большинстве случаев отдают предпочтение метрополитену городского типа с уменьшенным габаритом, малыми радиусами, крутыми уклонами и короткими станционными площадками для небольших сравнительно составов, отправляемых с большой частотой друг за другом. Решение в пользу М. городского типа объясняется его большей экономичностью и вытекает из характера городских улиц, подземных городских устройств, особенностей электрич. тяги, направления и характера людских потоков и различия технических условий сооружения и эксплоатации М. и железных дорог. М. является внеуличной ж. д., но в плане метрополитенные линии все же обычно следуют за очертаниями улиц и проходят либо над улицами либо под улицами, не подходя близко к домам. Заход надземного М. за линию домов или даже близкий подход к этой линии неминуемо сопряжен со сносом задеваемых М. зданий, что в больших городах обходится всегда дорого, а часто и совершенно не может быть допущено, если эти здания представляют собой крупный общественный, художественный или исторический интерес. При проведении подземного М. предоставляется уже нек-рая свобода для уклонения от очертаний улиц, так как техника дает возможность прокладывать туннели и под зданиями; однако такое решение вызывает большие дополнительные расходы. При узости и запутанности городских улиц, пересекающихся взаимно под прямыми и даже острыми углами, трасирование линий М. при соблюдении условий не заходить за линию домов представляет очень трудную задачу. Практика метрополитенного строительства установила, что только при кривых радиуса не более 60—75 *м*, а также при ширине двупутного туннеля (или эстакады при надземном типе) не более 7—8 *м* можно в современном городе сравнительно спокойно трасировать линию, почти не трогая домов. Но для пропуска нор-

мальных ж.-д. составов указанные кривые с радиусами 60—75 *м* были бы недостаточны, а ширина двухпутного туннеля (или эстакады) должна была бы быть доведена до 9 *м* и не менее 20 *м* на станциях. Некоторое значение имеет трасировка и в профиле. Для пропуска ж.-д. поездов с электровозами или моторными вагонами, запроектированными для равнинных загородных участков, не всегда подходят те большие уклоны (порядка 0,040—0,050), какие допускаются на городских М. и которые облегчают проектирование их в профиле, в особенности при холмистом характере города. При слабых же уклонах линия неизбежно будет отходить от рельефа местности, т. е. или сильно углубляться в землю при подземном М. или чрезмерно подниматься кверху при надземном, что прежде всего невыгодно отразится на расположении станций. Кроме того при слабых уклонах трудно избежать многочисленных встреч с водосточными, канализационными и прочими коллекторами, которые М. городского типа с сильными уклонами б. ч. обходят, перекладка же этих коллекторов вызывает большие дополнительные расходы, нарушает на некоторое время уличное движение, а порою бывает и технически затруднительна. Вследствие всех этих особенностей проложения внеуличных ж. д. в городах применение к ним тяжелых технических условий, обычных для ж. д. нормального типа, удорожает стоимость постройки по сравнению с городским типом М. и создает финансовые затруднения для проведения таких линий. Только при облегченных технич. условиях и типах стоимость М. может быть приведена к нормам, при к-рых сооружение становится коммерчески выгодным.

Предпочтение, даваемое городскому типу М. перед железнодорожным, объясняется не только большой стоимостью сооружения М. железнодорожного типа. В самой эксплоатации М. и железных дорог уже находятся известные противоречия. Прежде всего М.— дорога, проводимая по городу для городского населения. Для правильного обслуживания непрерывных людских потоков, подаваемых городом, поезда на М. должны следовать друг за другом с возможно меньшими перерывами, доходящими до 1 минуты и менее. При такой большой частоте отправления поездá метрополитена могут быть сравнительно небольшого состава. Эти обстоятельства предопределяют на М. и особые станционные устройства, отличные от железнодорожных. На М. не допускается пересечений путей на одном уровне и, вообще говоря, не допускается стрелок, чтобы опасность столкновения поездов была исключена, так сказать, физически. Поэтому при слиянии ж.-д. линии с метрополитенной на общей узловой станции д. б. приняты при постройке особые меры предосторожности, как недопущение пересечений путей на одном уровне и т. д., что значительно удорожает сооружение такой станции. Короткие составы поездов на М. обусловливают и короткие пассажирские платформы на станциях, а потому и самые станции на М. делают сравнительно короткие—от 60 до 100 *м*, тогда как для ж.-д. пригородных поездов в соответствии с их составами длина пассажирских платформ, а следовательно и станций должна быть ~ 200 *м*, т. е. в 2—3 раза больше. Так как станции М. располагаются или в туннелях или на эстакадах и обходятся, вообще говоря, дорого, то подобное удлинение станций для пропуска ж.-д. поездов повысило бы строительную стоимость сооружения М. Кроме того удлиненные платформы представляют неудобства и для пассажиров, высаживающихся из поездов М., замедляя их выход на улицу.

М. как городская ж. д. должен иметь в городе сравнительно частые остановки, примерно как показала практика, через каждые 300—500 *м* в центре и 1 000 *м* на окраинах, благодаря чему коммерческая скорость поездов М. не превышает 20—30 *км/ч* при максимальной технич. скорости от 50 до 60 *км/ч*. Пригородные же ж. д. имеют значительные перегоны, во всяком случае порядка километров, а не гектометров, и ж.-д. поезда при таких перегонах могут развивать скорости, значительно превышающие метрополитенные. Поэтому для вагонов М. применяются более тихоходные моторы, тогда как для пригородных жел. дорог моторы требуются быстроходные. Пропуск по метрополитенным линиям ж.-д. поездов с быстроходными моторами вызывает лишь повышение расхода электрич. энергии, не компенсируя его заметным увеличением коммерческой скорости. Вообще электрическое оборудование пригородных ж. д. разнится от метрополитенного. В то время как на электрических ж. д. применяются различные виды тока сравнительно высокого напряжения, а рабочий провод располагается над путями (воздушный провод), на М. везде, за весьма немногими исключениями, применяют постоянный ток при напряжении 600—800 V, а в качестве рабочего провода служит третий рельс.

Помимо электрич. оборудования вагоны М. существенно разнятся от железнодорожных и в других отношениях, так что пропуск ж.-д. поездов по линиям М. или наоборот—выпуск метрополитенных вагонов на ж.-д. пути создал бы для пассажиров ряд неудобств. На ж. д., даже и при пригородном движении, вагоны рассчитываются на длительное пребывание пассажиров, а потому пассажиру там д. б. предоставлен известный комфорт, во всяком случае место для сидения; в связи с этим полезная площадь ж.-д. вагона используется главн. обр. для наибольшего размещения сидений для пассажиров. В вагоне М., наоборот, пассажир проводит всего несколько минут. Комфорт для него при таком кратковременном пребывании отступает на второй план—можно и постоять в часы наплыва публики. Самое важное—это всегда иметь возможность войти в вагон. Поэтому в вагонах М. предоставляется больше мест для стояния, чем для сидения, чем достигается и более свободный проход к дверям, необходимый для быстрого опорожнения вагона. Далее, ж.-д. вагоны в местностях с холодными зимами должны обязательно отапливаться, быть хорошо утеплены, снабжены двойными рама-

ми, не иметь дверей, открывающихся прямо наружу. Рамы таких вагонов должны в то же время открываться для доступа свежего воздуха в летнее время. На М. же эти меры излишни, тем более, что темп-ра в туннелях понижается сравнительно слабо, даже и при суровых зимах. В ж.-д. вагонах, хотя бы и пригородного сообщения, обязательно имеются уборные; в вагонах М. их не делают, и они там не только излишни, но и недопустимы, т. к. сильно загрязняли бы туннели. Очень большое значение имеет для М. система дверей. Проходы через тамбуры, устраиваемые при суровых климатических условиях в жел.-дор. вагонах, для М. решительно не подходят. Для быстроты опорожнения и наполнения публикой вагон М. обязательно должен быть снабжен широкими дверями в боковых стенках, дающими выход прямо на станционную платформу, без всяких ступеней.

Наконец смешение пригородного ж.-д. движения с городским метрополитенным вызвало бы и некоторое замешательство в эксплоатации. Обыкновенно наибольшее движение поездов на М. совпадает по времени с наибольшей интенсивностью движения пригородных поездов. Графики движения М. в такие часы бывают совершенно заполнены. Поэтому выпуск в это время жел.-дор. поездов на пути М. вперемежку с метрополитенными поездами, следующими с хронометрической точностью, осложнило бы правильное выполнение графика. Совместный пробег по одним и тем же путям пригородных и метрополитенных поездов вызывает большое скопление публики на станционных платформах. В расчете на такие скопления пассажиров станционные платформы смешанных железнодорожно-метрополитенных станций должен быть значительно шире, чем на станциях чисто метрополитенного типа, а уширение пассажирских платформ влечет за собой и соответственное уширение туннелей станций (или эстакад, на которых они расположены), т. е. опять-таки повышает стоимость сооружения М. Наконец целый ряд эксплоатационных мелочей: обслуживание поездов, тарифы, контроль билетов и пр., на ж. д. и на М. трудно увязываются друг с другом.

Иногда, ради предоставления пригородным пассажирам удобств беспересадочного сообщения, решаются на следующий паллиатив: если на линии М. не сделано ввода ж.-д. пригородных поездов, как вызывающего большие расходы при сооружении М., то устраивают пропуск метрополитенных поездов с уменьшенным габаритом по ж.-д. путям. Такого рода решение применено на некоторых лондонских линиях. В известных случаях, когда такой выход поездов М. на жел.-дор. линию совершается уже на самой окраине города и когда дальнейший поток пассажиров направляется почти исключительно в загородные местности, его можно рекомендовать, так как он не требует больших затрат; все же целый ряд указанных выше неудобств совместной эксплоатации остается и при таком способе. Однако естественное стремление предоставить пригородным ж.-д. пассажирам удобство беспересадочного сообщения до самых центральных частей города, несмотря на затраты, должно быть удовлетворено рано или поздно. Правильным решением для этого является устройство глубоких внеуличных вводов жел.-дор. линий, обслуживающих пригородное движение, в центральные части города. Так задача и решена в настоящем или предвидена для будущего в крупных городах, имеющих М. Выгода этого решения заключается еще и в том, что такие глубокие вводы осуществляют независимо от М. не только конструктивно, но и по времени приурочивая их к моменту, когда они будут диктоваться действительными нуждами пригородного движения и оправдываться экономически. При этом обыкновенно только ставится условие, чтобы при сооружении сети М., необходимость в которой иногда возникает несколько ранее, были предусмотрены все пересечения ее с будущими глубокими вводами железных дорог.

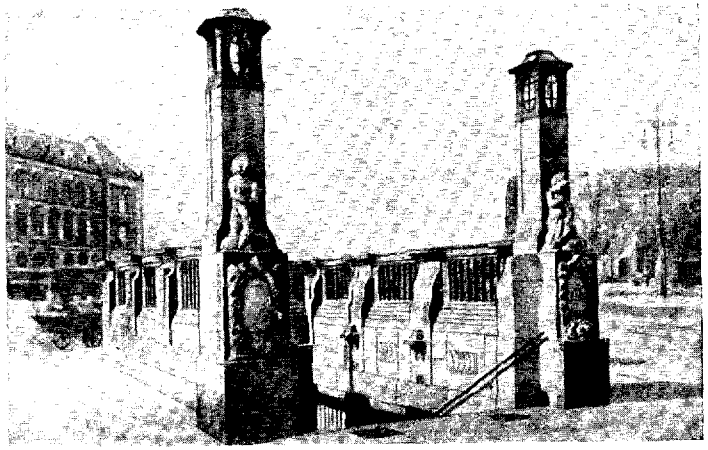
Ради предоставления пассажирам удобств беспересадочного сообщения с ближайшими загородными местностями линии М. иногда выводятся за город. Если при этом линия проходит по густо населенным пригородам, то она сохраняет свой метрополитенный внеуличный характер, большею же частью продолженные за город линии метрополитена переходят там на обыкновенное земляное полотно и только станции устраиваются с высокими платформами, в соответствии с типом вагонов М. В Буенос-Айресе вагоны М. выходят даже прямо на трамвайные пути и следуют далее как простые трамваи. Такая система требует для вагонов кроме обычных метрополитенных дверей еще дополнительных дверей с приступками, необходимыми при остановках на уровне улиц. Для эксплоатации она неудобна и в самом Буенос-Айресе от нее теперь уже отказываются. Вывод линий М. за город в финансовом отношении обычно невыгоден. Главная причина убыточности лондонского метрополитена заключается именно в большом протяжении его загородных линий. В Лондоне линии, проходящие по центральным частям города, в особенности такие, как Сити—Ватерлоо, очень доходны; на загородных же линиях, несмотря на многолетнее их существование, до сих пор не могло образоваться достаточных потоков пассажиров, чтобы вывести эти линии из дефицитов. Иногда при сооружении М. создают в концах его диаметров населенные городки, разрешая таким образом жилищный кризис в городе и в то же время сразу обеспечивая новую линию пассажирами. Так именно и поступила в Мадриде Компания мадридского М. при постройке первой своей линии. Компания скупила пустыри на северной оконечности этой линии и создала там город с большим стадионом. Опыт показал также, что в больших сильно развивающихся городах нет оснований опасаться убыточности метрополитенных линий, проводимых по пустырям, если только эти пустыри находятся на расстоянии не более получаса езды до центра и если они предназначены к застройке по городскому типу многоэтажными домами. При нормальных условиях кредита и развития города линии

М., проведенные по таким пустынным кварталам, вызывают усиленную застройку их и делаются скоро рентабельными. Иначе обстоит дело с загородной местностью, где желание сохранить за нею характер дачной жизни препятствует постройке больших многоэтажных домов, т. е. уплотнению населения.

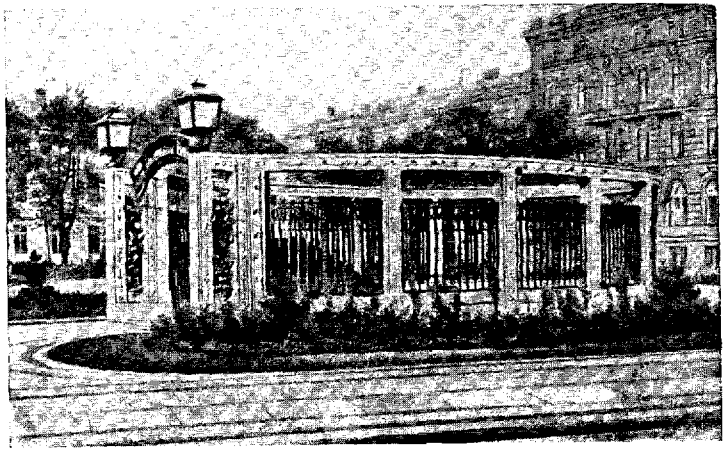
Попытки использовать пути М. для движения товарных поездов, где габарит это позволяет, не увенчались успехом. Чрезвычайная густота движения пассажирских поездов М. ставит этому определенные препятствия, ночной же перерыв в движении, длящийся обыкновенно 3—4 часа, слишком для этого незначителен, принимая во внимание, что в те же часы перерыва совершаются необходимые ремонтные работы на пути. В некоторых городах для обслуживания товарного движения построены особые внеуличные ж. д. Пример такого «товарного М.» дает Чикаго, где сеть подземных товарных ж. д. в настоящее время достигла свыше 120 *км*, проходя от пристаней и жел.-дор. станций по главнейшим артериям города и обслуживая все значительные склады, рынки, магазины и потребителей топлива. Дорога имеет колею в 61 *см* и обслуживается специальным подвижным составом. В местах выгрузки в туннелях имеются особые гаражные пути, откуда кузовы товарных вагончиков подъемниками поднимаются на склады и там разгружаются. В Лондоне широкое распространение получили подземные узкоколейные жел. дороги для почтовых перевозок. Туннели для этих дорог проложены на большой глубине, как «тюбы» лондонского пассажирского М., и сообщаются подъемниками и винтовыми наклонными плоскостями с вокзалами, почтамтом и почтовыми отделениями, которые они обслуживают. Движение почтовых моторных вагончиков от станции до станции совершается автоматически, без вагоновожатого.

М. проводится над землей или под землей. Надземный тип получил особое распространение на заре метрополитенного строительства, преимущественно в Нью Йорке, Берлине и некоторых других городах. Состояние техники того времени (60-е годы 19 в.), а также особенности геологического строения местности в этих городах, неблагоприятные для прокладки туннелей, вполне оправдали проведение М. не под землей, а над улицей. На первых М. применялась только паровая тяга. Естественно поэтому было стремление располагать пути М. на эстакадах, а не в туннелях, где при большой частоте поездов удушливый дым от паровозов оставался бы надолго, проникая на станции и в вагоны. Помимо того прокладка туннелей в таких городах, как Нью Йорк или Берлин, встречала препятствия и в самой природе грунта этих городов (скала в Нью Йорке и водоносный песок в Берлине). Техника устройства туннелей в таких грунтах в то время была еще слабо развита, сооружение же эстакад для надземного метрополитена никаких технич. затруднений не представляло и сводилось к устройству непрерывного ряда железных мостов небольших пролетов, являясь также и более экономичным. Возведению таких металлич. эстакад, требующих большого количества железа, как нельзя более отвечало в то же время и широкое развитие металлургической промышленности как в США, так и в Германии, и сами концерны, строившие там М., были тесно связаны с металлургическими фирмами.

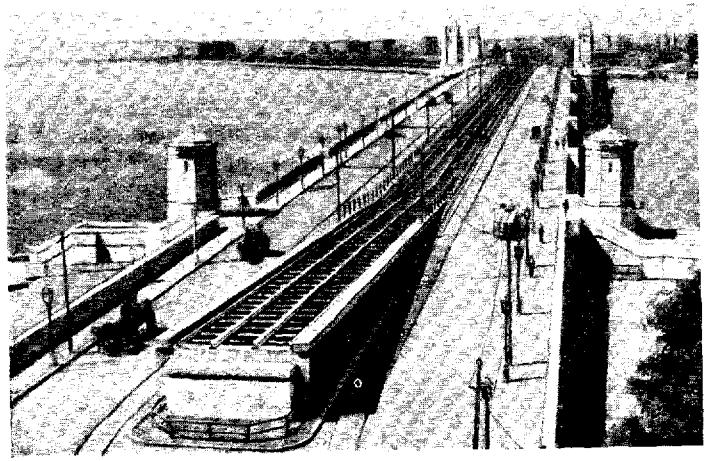
Первые надземные М. строились при очень облегченных технических условиях: 1) пролеты между пилонами эстакад из экономии делались небольшими; 2) радиусы закруглений допускались минимальные (в Нью Йорке доходили до 27 *м*), что очень облегчало трасировку линий при поворотах на поперечные улицы, не вызывая сломки близ находящихся зданий; 3) верхнее путевое строение укладывалось без балласта, а это, помимо экономии на самом верхнем строении, уменьшало нагрузку на фермы эстакад и позволяло делать их более легкими. Благодаря этим условиям первые надземные М. обходились очень дешево, поэтому частные концессионные компании, мало считавшиеся с действительными нуждами и будущим развитием города, охотно давали предпочтение этому типу М. Но с течением времени к эстакадам М. стали предъявлять другие, более повышенные, требования. Первоначально установленные пролеты оказались недостаточными при все развивающемся уличном движении, и для новых М. пришлось их значительно увеличивать, а с увеличением пролетов увеличивался и вес ферм эстакад. От безбалластного верхнего строения тоже пришлось отказаться из-за постоянных жалоб жителей на нестерпимый грохот от ежеминутно проходящих по эстакадам поездов, применение же балласта, который несколько заглушал этот грохот, отразилось на общем весе ферм пролетного строения. При таких обстоятельствах стоимость надземных М. увеличилась для больших пролетов (в несколько десятков *м*) почти в три раза и превысила стоимость подземных М. различных типов. Помимо этого кривые малых радиусов при эксплоатации оказались неудовлетворительными (и их теперь избегают), а при более пологих кривых становится трудно трасировать линию, не производя сломки существующих зданий, что в свою очередь сильно удорожает постройку надземного метрополитена. Разница в стоимости надземного и подземного М. вследствие этих обстоятельств стала сглаживаться, поэтому естественно, что когда электрич. тяга, не дающая дыма, нашла себе широкое применение в городах, то даже такие города, как Нью Йорк и Берлин, несмотря на неблагоприятные почвенные условия, стали переходить на устройство М. в туннелях. Из других мировых столиц Лондон и Париж почти не строили М. над землей, главным образом потому, что первые метрополитенные линии проводились там по таким узким улицам, что возведение эстакад на них было бы невозможно. В Лондоне подземные линии строились еще под паровую тягу (одновременно с нью-йоркским М.) и эксплоатация их поэтому представляла большие затруднения. Париж приступил к сооружению М. сравнительно



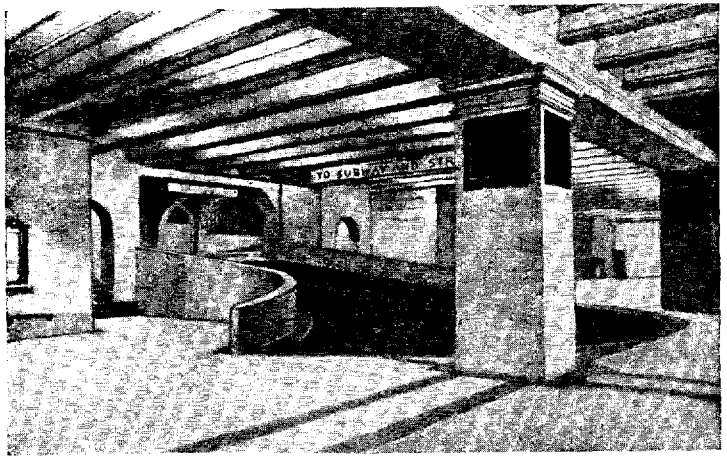
Вход на станцию М. «Главный вокзал» в Гамбурге.



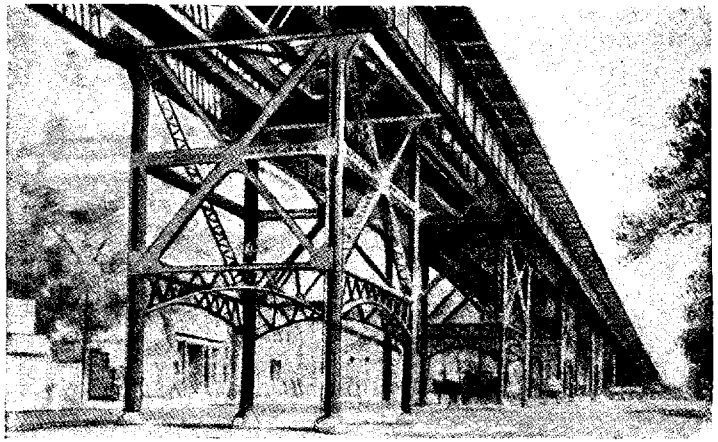
Вход на станцию М. «Кайзергоф» в Берлине.



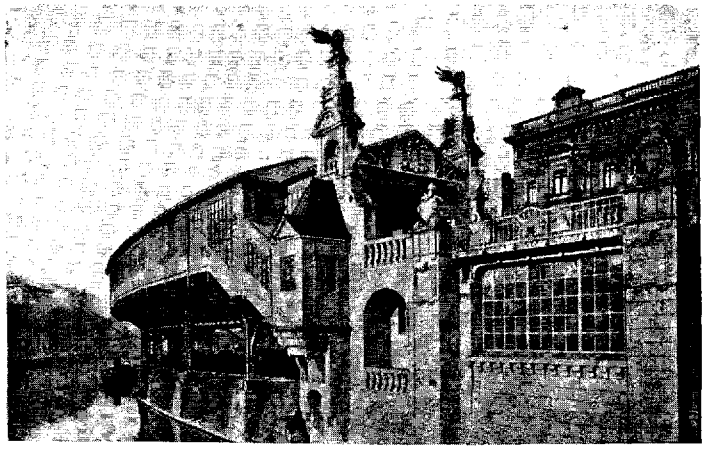
М. на мосту через Чарльс-Ривер в Бостоне.



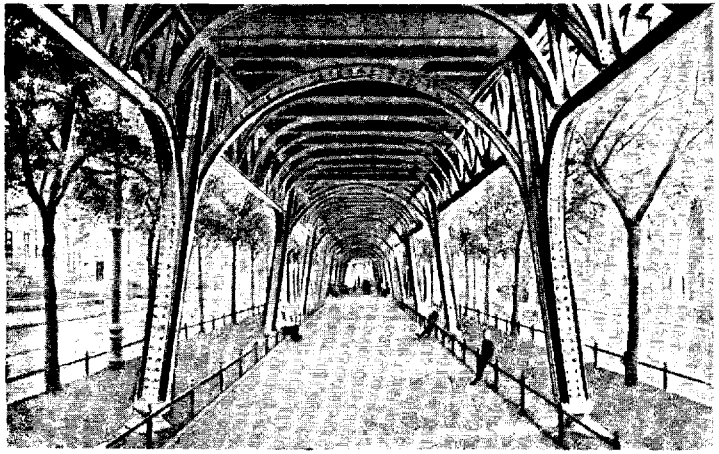
Вестибюль подземной станции М. в Нью Йорке.



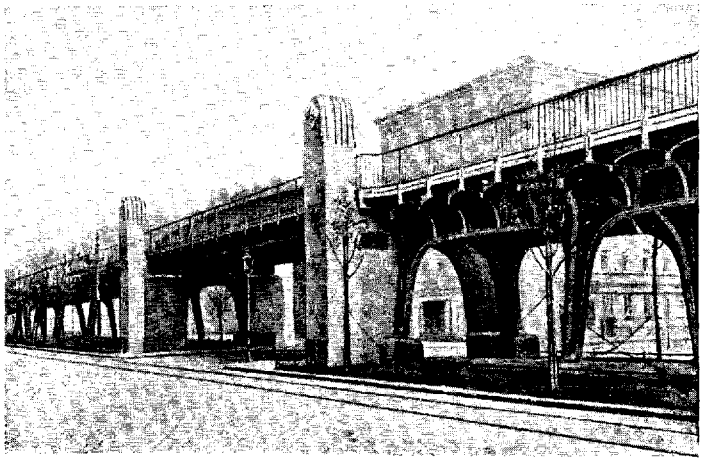
Эстакада М. в Нью Йорке.



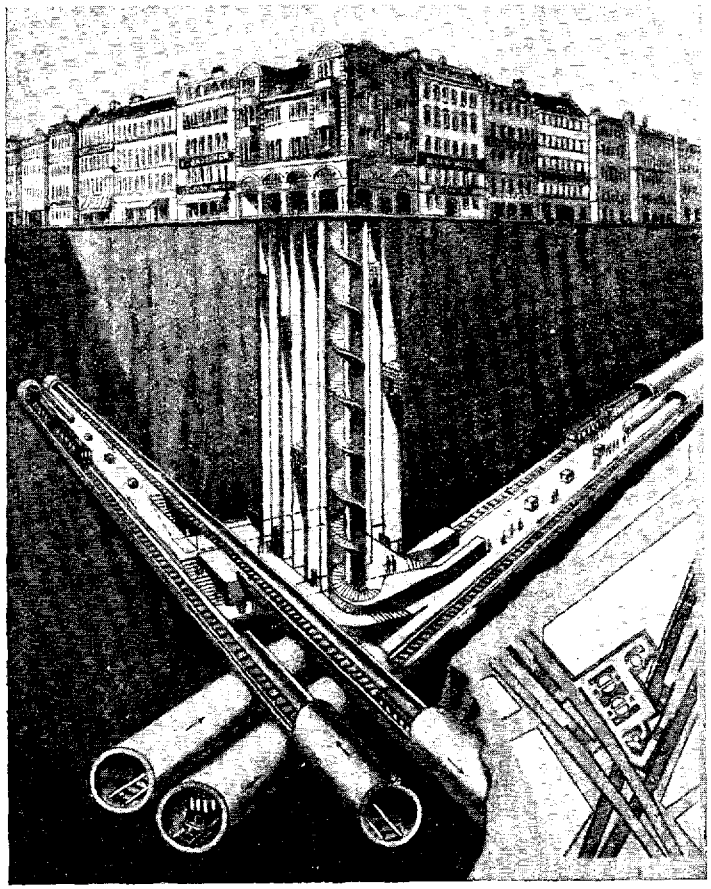
Эстакада М. со станцией на Ландверском канале в Берлине.



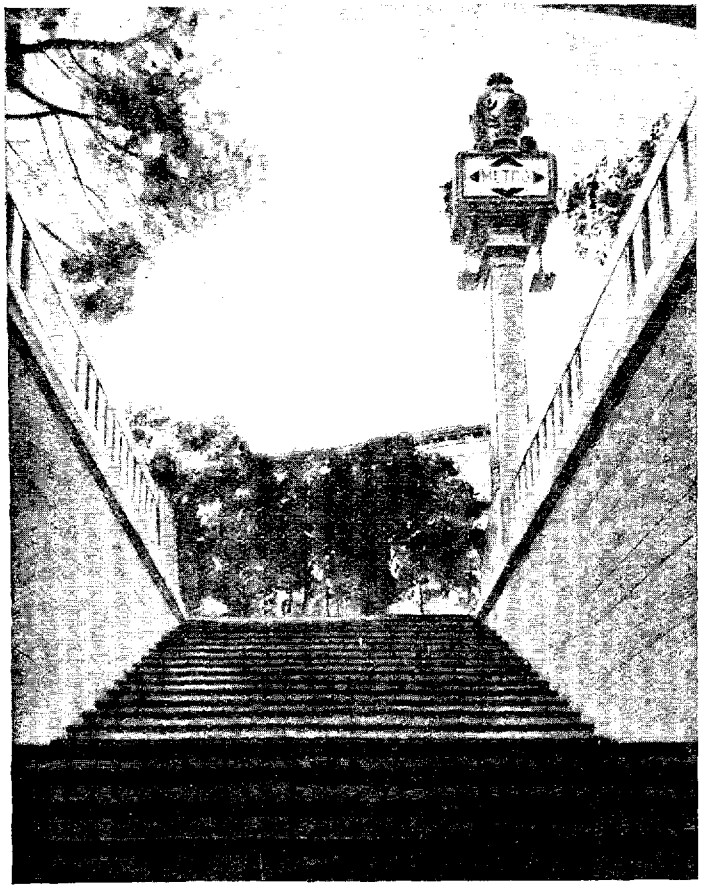
Эстакада М. на Шенгаузерской аллее в Берлине.



Эстакада М. на Шенгаузерской аллее в Берлине с пропуском встречной поперечной улицы.



Пересечение двух подземных линий Лондонского М. в тюбах у станции «Пиккадилли-Серкс».



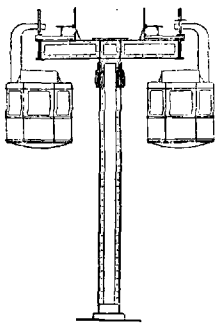
Выход со станции М. «Прогресс» в Мадриде.

поздно, когда электрич. тяга уже получила известное распространение и не было поэтому препятствий для сооружения М. в туннелях. Кроме того геологич. структура Парижа не представляла тех затруднений для прокладки туннелей, какие встретились в Нью Йорке и в Берлине, и сооружение подземного М. обходилось в Париже много дешевле надземного. Все же при холмистом характере местности в Париже строителям М. пришлось вывести его кое-где из туннелей на эстакады. Общее протяжение этих эстакадных линий невелико (всего ок. 6% длины всей сети М.), тем не менее постройка их вызвала резкие протесты населения. Эстакады не только портили общий вид улиц, но представляли и серьезное неудобство для населения вследствие нестерпимого непрерывного грохота от несущихся с раннего утра до поздней ночи поездов. Стоимость квартир в домах на таких улицах понизилась и домовая рента упала. Окончательный удар М. надземного типа нанесло развившееся до небывалых размеров уличное автомобильное движение за границей, о к-ром в эпоху постройки первых М. никто не мог и думать. Пилоны эстакад, даже и на широких улицах, теперь уже представляют серьезные препятствия для уличного движения,—особенно стеснительны станции вследствие их больших размеров. Теперь надземных М. почти нигде не строят. Нью Йорк, выстроивший до 1904 г да 132 *км* М. на эстакадах, после этого перешел к подземному типу и, имея в настоящее время уже 201 *км* подземного М., заканчивает сооружение новой подземной сети М. протяжением 92 *км*, несмотря на тяжелые грунтовые условия; некоторые же линии надземного М. в Нью Йорке—стеснительное наследие прошлого времени—теперь заменяют подземными. В Париже все линии после 1905 года до настоящего времени сооружают исключительно под землей. В Берлине, где вначале увлекались эстакадными М., с 1912 го ia их больше не строят и последние линии проводят уже под землей. Последние линии в Чикаго, Бостоне, Филадельфии, Вашингтоне, Буенос-Айресе, Глазго, Ливерпуле, Будапеште, Вене проведены под землей. Города, которые только недавно закончили у себя сооружение первых метрополитенных линий (Мадрид, Барселона, Токио) или только приступают к постройке М. (Рим, Милан, Неаполь, Генуя, Брюссель, Варшава), проводят их под землей. Можно указать лишь на два города, где в последнее время часть линий М. была проведена над землей, а именно Гамбург и Сидней, где это объясняется особыми местными условиями.

Стоимость сооружения надземных и подземных М. сильно колеблется в зависимости от местных условий. Так напр., данные парижской и берлинской практики приводят к совершенно противоположным результатам. Но эти противоречия легко объясняются при ближайшем анализе. В Париже туннели строились сводчатыми из бетона и бутовой кладки, в Берлине же по местным условиям применялись туннели с плоским перекрытием из железных балок, что значительно дороже. Когда в Париже в нек-рых местах пришлось применить плоское перекрытие, то стоимость туннеля приблизилась к берлинским нормам. Что касается надземного М., то стоимость его помимо других обстоятельств сильно зависит от величины пролетов. В Берлине эстакады устраивались с небольшими пролетами (до 12 *м*) и только при пересечениях с поперечными улицами эти пролеты соответственно увеличивались; в Париже, наоборот, из желания меньше стеснять уличное движение пролетам эстакад давали значительные размеры. На тех участках надземного М. в Берлине, где потребовались более значительные пролеты, стоимость эстакад значительно возросла и при пролетах в 20 *м* она оказалась почти та же, что и для Парижа. Т. о. утверждение, что эстакадные М. дешевле туннельных, было верно только для Нью Йорка и Берлина, где прокладка туннелей вследствие местных особенностей вообще обходилась дорого, а эстакады при допущении небольших пролетов, безбалластного верхнего строения и при сравнительной дешевизне железа обходились вначале исключительно дешево; в других же городах, при других геологич. условиях, иных ценах на строительные материалы и иных требованиях к величине пролетов, соотношение может быть обратное.

Расположение надземного М. на насыпях допустимо только за городом, при проходе по пустырям. Равным образом чрезвычайно редко встречается устройство М. на насыпях с подпорными стенками, что хотя и меньше стесняет уличное движение, чем при простых насыпях с откосами, но все же мешает ему и портит весь вид улицы, деля ее пополам в продольном направлении. Единственно приемлемым решением для надземного М. является устройство эстакад, как занимающих меньше места на улице и меньше стесняющих движение. Для М. эстакады строят гл. образом из железа и железобетона и иногда из железа с каменными или чугунными опорами. Из экономии места и чтобы меньше отнимать света эстакады устраивают преимущественно балочной или равнозначащей ей рамной системы. Арки встречаются как исключение (Вена). Свободная высота эстакад над уровнем мостовой обусловливается высотой повозок, трамваев и автобусов и в разных городах регламентируется различно. Она д. б. во всяком случае не менее 4,25 *м* и может доходить до 6 *м* и более. Пролеты эстакад М. зависят не только от экономических соображений, в смысле принятия наивыгоднейшего решения при известной стоимости опор и пролетной части, но также и от требования свободного проезда под эстакадой. При пересечении со встречными улицами эстакада должна перекрывать улицу одним или двумя пролетами, деля ее в последнем случае пополам; при очень большой ширине улицы допустимо пересекать ее многопролетной эстакадой, сообразуя пролеты с потоками движения на улице. К метрополитенным эстакадам, проходящим б. ч. по главным артериям больших столичных городов, часто с большим художественным и историч. содержанием,

должны предъявляться известные художественные требования. К сожалению эстакады при большом протяжении, каково бы ни было их архитектурное оформление, производят унылое впечатление своею непрерывностью и монотонностью. Только при резко меняющемся рельефе местности, когда линия М., выскочив из туннеля крутого косогора, пробегает на коротком протяжении эстакадой по долине, чтобы снова зарыться туннелем в косогор, получаются красивые решения, особенно если эстакада проходит по большим площадям или среди зеленых парков. При проходе надземного М. над реками или ж.-д. путями строят мосты и путепроводы или иногда пути М. располагают на эстакадах, устроенных на городских мостах и путепроводах, предназначенных для обыкновенного уличного движения. Эстакаду М. в таких случаях располагают посредине моста, причем трамвайные пути обычно укладываются под путями М. между пилонами эстакады. Иногда, на очень больших мостах, пути М. укладывают на уровне проезжей части моста, с устройством особого заграждения, и переходят на эстакады при подходе к берегу (переход через Чарльс-Ривер в Бостоне, вкл. л., *1*). Метрополитенные мосты по своему архитектурному целому и по своей художественной обработке часто являются украшением для города. Примеры устройства М. на эстакадах, мостах и путепроводах в разных городах приведены на вкл. л., *2—5*. Рисунки иллюстрируют, насколько трудно возводить эстакады М. на улицах, не стесняя уличного движения. Подвесн. железная дорога была выстроена между городами Барменом и Эльберфельдом (см. *Железные дороги однорельсовые*, фиг. 7) еще в начале настоящего столетия и дает там вполне удовлетворительные результаты (на фиг. 1 изображен проект берлинской подвесной ж. д.).



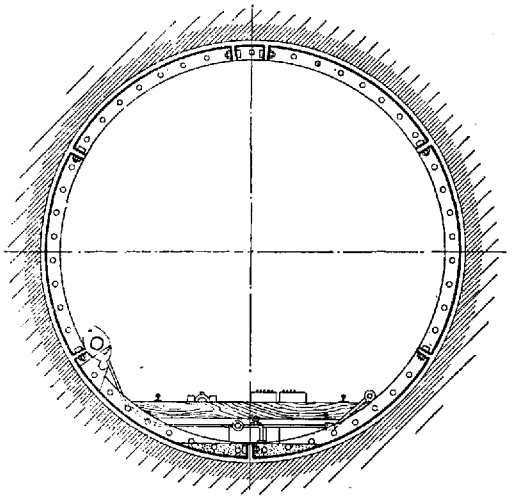
Фиг. 1.

Конструирование и расчеты метрополитенных эстакад, путепроводов и мостов в общем не отличаются от таковых на ж. д., и описание их помещено в соответствующих статьях.

При сооружении М. под землей туннели его устраивают либо с каменным сводчатым перекрытием, либо с плоским перекрытием (железным или железобетонным), либо наконец в виде круглых чугунных труб (тюбы). По преимущественному распространению того или иного типа в главнейших городах Европы среди русских техников принято называть эти типы соответственно—парижским, берлинским и лондонским. Такое наименование однако совершенно условно и не вполне правильно, т. к. все три типа—плоский, сводчатый и тюбы—применялись напр. и в Нью Йорке, и в Париже, и в Лондоне; в Берлине также помимо более распространенного плоского типа, в нек-рых случаях строились и сводчатые туннели. Предпочтение, отдаваемое определенному типу подземного М. в том или ином городе, объясняется прежде всего топографич., геологич. и гидрологич. особенностями города, расположением сети его подземных сооружений (канализации, водопровода, водостоков, кабелей и пр.), состоянием промышленности в стране и наличием в ней тех или иных строительных материалов; не последнюю роль играют в данном случае также строительные навыки инженеров каждой страны, но эти навыки опять-таки вырабатываются под влиянием совокупности всех указанных материальных обстоятельств (см. *Туннели городские*). В Лондоне на первых линиях подземного М. туннели прокладывались на небольшой глубине и перекрывались обыкновенным каменным сводом, причем работы велись не туннельным способом, а в открытых котлованах, сверху. При таком способе работ пришлось перекладывать всю сложную сеть подземных городских сооружений, к-рая в Лондоне была очень запутанна. Эта перекладка часто обходилась дороже сооружения самого М. и вызывала большие замешательства в уличном движении. Поэтому при дальнейшем развитии сети лондонского М. англ. инженеры решили зарыться поглубже в землю и для прокладки туннелей остановились на т. н. «способе щита», давшем уже хорошие результаты при многочисленных переходах туннелями под дном Темзы. Внешним очертаниям такого туннеля, а следовательно и щита придается форма кругового цилиндра, а самые кольца туннеля собирают из отдельных круговых чугунных сегментов, сбалчиваемых друг с другом болтами. Такие туннели в Лондоне названы *тюбами* (трубами) и это слово завоевало права гражданства на всех языках. Опыт показал, что для работы щитом особенно пригодным является плотный глинистый грунт, не содержащий валунов, и в Лондоне как раз на глубине 20—50 *м* оказался мощный пласт такой глины, чем и воспользовались англ. инженеры для прокладки тюбов. Тюбы требуют для своей обделки значительного количества высокосортного чугуна, что для Англии с ее богатой металлургич. промышленностью не представляет затруднений, и чугунные кольца для обделки там обходились сравнительно недорого. Тип тюба для перегона и станции показан на фиг. 2 и 3. Таким обр. преимущественное распространение тюбов при сооружении лондонского М. находит себе объяснение в наличии трех материальных факторов: 1) чрезвычайной запутанности сети подземных сооружений в Лондоне, что служило большим препятствием для неглубокого заложения туннелей М.; 2) нахождения на известной глубине плотной пластичной глины, особенно благоприятной для работы щитом; 3) сильно развитой металлургич. промышленности Англии, обеспечивающей недорогую заготовку чугунных колец для тюбов. К этому нужно прибавить весь предыдущий опыт и навыки англ. инженеров при прокладке многих таких тюбов под Темзой.

Совершенно иначе обстояло дело при сооружении подземного М. в Берлине. Прежде всего там не знали тех затруднений, какие выпали на долю Лондона при встрече с

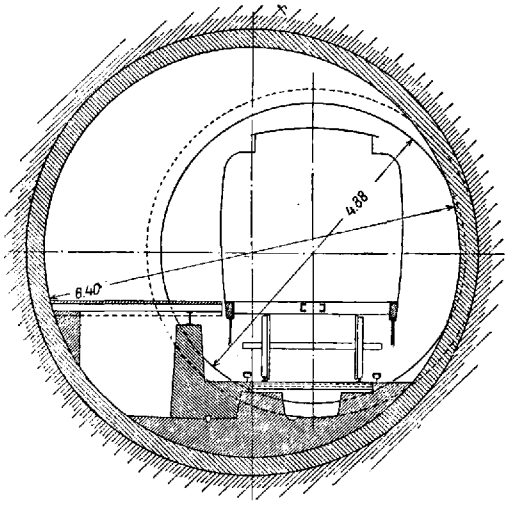
сетью подземных сооружений. В Берлине все подземные трубы и кабели были расположены в образцовом порядке, исключительно под тротуарами. Улицы были свободны от них и потому при прокладке М. их можно было вскрывать, не трогая существующих сооружений и не вызывая в



Фиг. 2.

них значительных переделок. Только при пересечении поперечных улиц приходилось неизбежно встречаться со всеми подземными трубами и кабелями встречной улицы, но при таких условиях уже не представляло больших затруднений пропускать эти трубы и кабели над или под М. С другой стороны, природные условия в Берлине были таковы, что туннель приходилось приподнять как можно выше к поверхности мостовой. Берлин расположен в низменной долине реки Шпрее, покрытой песчаными наносами, сильно водоносными и с высокими грунтовыми водами. Такие условия принудили строителей берлинского М. как можно менее углубляться с туннелями, что облегчалось и расположением сети подземных сооружений; а так как при плоском перекрытии можно ближе прижать сооружения М. к поверхности мостовой, чем при сводчатом, то предпочтение, отданное в Берлине плоскому перекрытию, становится понятным. Плоское перекрытие требует много железа и потому обходится обычно дороже сводчатого, но для Германии с ее богатой металлургической промышленностью это обстоятельство не могло являться препятствием. Работы по прокладке туннелей с плоским перекрытием ведутся сверху, в открытых котлованах. Этот способ сравнительно прост: работы, земляные и бетонные, ведутся под защитой продольных вертикальных стенок, ограждающих котлованы. Для борьбы с грунтовыми водами был применен способ, позволивший, несмотря на то что грунт в Берлине очень водоносен, вести работы по прокладке туннеля насухо. Достигалось это так называемым искусственным понижением горизонта грунтовых вод. Этот прием при песчаном, сильно водопроницаемом грунте в Берлине увенчался полным успехом. На бойких улицах, где работа в открытых котлованах недопустима, берлинские инженеры перекрывают их особым настилом, по которому пропускается трамвайное, автомобильное и пешеходное движение, и стеснение уличного движения сводится в таких случаях к безобидному минимуму. В разработке деталей работ по своему способу берлинские инженеры достигли большого совершенства.

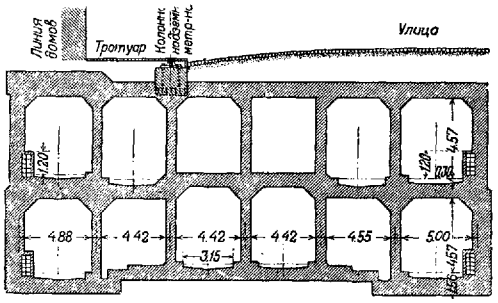
Туннели с плоским перекрытием получили в последнее время почти исключительное применение также и на нью-йоркском М., хотя там применялись также и сводчатые туннели и тюбы (последние только на подводных участках). Но в Нью Йорке применение плоского перекрытия для М. объясняется не геологическими условиями. Твердый скалистый грунт (гнейс), составляющий подпочву Нью Йорка, с небольшими верхними напластованиями лессовых отложений, не более благоприятен для мелкого заложения туннеля, чем для глубокого. Предпочтение, отданное там в последнее время плоскому типу, находит себе объяснение в условиях планировки и жизни этого гигантского города. Центральная часть Нью Йорка расположена на узком, сильно вытянутом полуо-ве Мангатан. Главные улицы этой части (авеню) направлены вдоль полуо-ва, в этом же направлении преимущественно движутся и массовые людские потоки, к-рые при лихорадочной интенсивной жизни Нью Йорка достигают больших размеров. При сооружении подземного М. прокладки одной двупутной линии под такими авеню в Нью Йорке было недостаточно. Помимо нормальных линий европейского типа с обычными небольшими расстояниями между станциями в Нью Йорке пришлось строить независимо от них параллельные линии с большими перегона-



Фиг. 3.

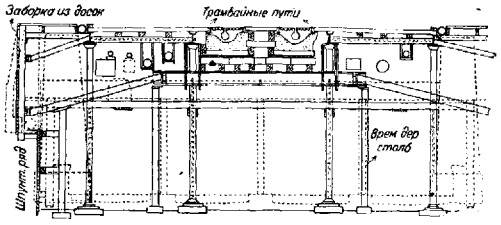
ми, где скорости могли быть значительно повышены. Таких линий (тихоходов и скороходов) проложено по четыре и больше под одним авеню. Естественно, что при таком количестве параллельных линий под одной и той же улицей сечения туннелей, для более компактной укладки, д. б. прямоугольными, т. е. с плоским перекрытием. При-

мером такого расположения могут служить туннели под Лексингтон-авеню (фиг. 4), а также туннели вновь строящихся линий в Нью Йорке (фиг. 5). Туннели с плоским перекрытием для нью-йоркского М. устраивались обыкновенно из железных балок и стоек, напоминая собою конструкцию берлинского М. Иногда балки и стойки устраивались



Фиг. 4.

железобетонные. Там, где можно было не считаться с уличным движением (в парках, на больших площадях), работы по прокладке туннеля велись в открытых котлованах. На улицах же с более или менее интенсивным движением котлованы перекрывались для проезда деревянным настилом, под которым и производились работы. Все мешающие работам подземные канализации предварительно перекладывались на новое место, а газопроводы временно подвешивались над улицами. В некоторых случаях при работах вскрывалась лишь часть улицы около тротуара, а остальные работы велись под землей туннельным способом, как напр. на 5-й авеню (главная улица Нью Йорка), где полное вскрытие мостовой не было допущено даже на короткое время. Туннели с плоским перекрытием помимо Берлина и Нью Йорка прокладываются и в других городах, особенно в тех случаях, когда по условиям трасировки приходится поднимать линию М. возможно ближе к мостовой.



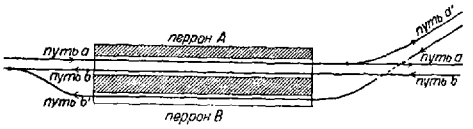
Фиг. 5.

Туннели М. со сводчатым перекрытием применяются гл. обр. в Париже, и для этого существуют свои основания. Прежде всего в Париже не было того хаоса в расположении разных подземных сетей, к-рый так осложнил работы при сооружении первых сводчатых туннелей М. в Лондоне. В Париже принята система общесплавной канализации, т. е. в канализационные трубы попадают и домовые и ливневые воды и этим трубам всюду даны значительные размеры, дающие возможность прохода по ним людей. Трубы эти, овальн. сечения (на больших улицах), проходят по одной с каждой стороны улицы под мостовой рядом с тротуарами и в них обычно расположены все водопроводные, газовые, воздухопроводные и иные трубы и всякого рода кабели. Т. о. середина улицы в Париже, как и в Берлине, за немногими исключениями свободна от подземных сооружений. Но прокладке туннелей М. непосредственно под мостовой мешали бы трубопроводы канализации встречных поперечных улиц. Трубопроводы эти в отличие от берлинских настолько велики сами по себе, что переустройство их (дюкера и пр.) для пропуска линий М. вызвало бы большие затруднения и главное осложнило бы всю хорошо налаженную систему городского хозяйства. Поэтому парижские инженеры, как общее правило, проводят линии своего М., не углубляясь далеко, но все же несколько ниже сети канализации. Грунт в Париже за исключением высот Монмартра, Бельвиля и пр. в верхних своих слоях состоит из аллювиальных отложений р. Сены (и впадающих в нее речек), преимущественно мелкопесчаных, глинистых и илистых, но менее пропитанных водой, чем в Берлине. Аллювии эти покрыты слоем насыпного грунта, достигшего местами за более чем двухтысячелетнее существование Парижа значительной толщины. М. прокладывался гл. обр. в верхних слоях аллювия или в насыпном грунте. Проход щитом в таких грунтах хотя и возможен, но представляет известные затруднения при небольшой глубине заложения туннеля, так что в Париже после многих опытов вообще отказались от способа щитовой разработки для М., сохранив этот способ только для прохождения под реками или же на большой глубине. Устройство плоских перекрытий на сравнительно уже большой глубине, по сравнению с принятой для М. Берлина, было бы неэкономично и нерационально. Т. о. парижские инженеры при сооружении своего М. остановились на сводчатом типе туннеля, разрабатываемом обычным туннельным способом, на деревянных крепях. Очень благоприятствовало такому решению еще и то обстоятельство, что техника туннельного городского дела была доведена в Париже до высокой степени совершенства еще задолго до сооружения М. при постройке подземных каналов, больших коллекторов для канализации и т. п. При прокладке этих туннелей парижские инженеры выработали мало-по-малу легкие, очень экономичные, изящные по форме и в то же время вполне отвечающие требованиям прочности типы. Кроме Парижа сводчатое перекрытие для подземного М, получило почти исключительное распространение в Мадриде и Барселоне и применялось частично почти во всех городах.

Подземные М., в противоположность надземным, почти не оказывают влияния на общую архитектуру города, и только наружные входы и выходы с павильонами или балюстрадами вносят нечто новое в архитектурный ансамбль улиц и площадей и потому требуют известной архитектурной обработки. Иногда же эти выходы и входы устраиваются в первом этаже ближайших домов, наподобие магазинных входов или в виде лоджий, и ничем кроме надписей на

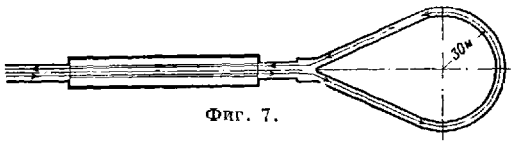
улице не выделяются. Такое устройство особенно часто встречается в Лондоне (вкл. лист, *6*). Подземные станции, где пассажиры в ожидании поезда проводят нек-рое время, должны также иметь известную архитектурную обработку, хотя они и скрыты под землей. Они д. б. ярко освещены и снабжены ясными, четкими надписями с названием станций и с указаниями входов, выходов, пересадок, направлений, дающими пассажиру возможность быстро и безошибочно ориентироваться. Примеры обработки наружных входов на станции и самих станций даны на вкл. л., *7—10*.

Необычайная по сравнению с движением на других ж. д. частота отправлений поездов М. обусловливает собою совершенно иное расположение путей, чем на железных дорогах. На М. не допускается пересечение разных линий на одном уровне, а они проводятся одна над другой во избежание столкновений поездов. При разветвлении линии (что многими авторитетами также не рекомендуется) пути располагают т. о., что возможность столкновения прибывающих на станцию поездов совершенно исключается; наблюдение д. б. сосредоточено только на поездах, отправляющихся со станции, причем стрелки располагаются непосредственно за станцией, как показано схематически на фиг. 6; по этой схеме поезд, прибывающий слева по пути *a*, останавливается у перрона *A* и идет дальше, смотря по назначению, по пути *a* или по пути *a'*. Ошибка (к тому же мало вероятная) в переводе стрелки не вызовет никакой катастрофы. Справа поезда могут подходить либо по пути *b* либо по пути *b'*, причем путь *b'* проходит над или под путями *a* и *b*, не пересекаясь с ними на одном уровне. Оба поезда могут т. о. подойти к станции без малейшего риска столкновения и остановиться по обе стороны перрона *B*. Дальше за станцией пути *b* и *b'* сливаются в один путь *b*, но шансы столкновения и в данном случае почти исключены. Прежде всего начальник станции, имея перед глазами оба поезда в одном и том же направлении, не может дать сигнала к отправлению одновременно двух поездов. Затем, если бы такой сигнал и был дан, то вожатые обоих поездов, видя друг друга и направляясь к одной точке, не могли бы не заметить ошибки, роковые последствия к-рой сказались бы прежде всего на них самих. Возможность столкновения предупреждается еще и автоматич. сигнализацией: при подаче сигнала к отправлению для одного поезда сигнал на пути другого поезда автоматически показывает остановку, при проходе поезда по одному пути проход по другому закрывается сигналами и автостопами, автоматически выключающими ток в этом поезде и приводящими в действие тормоза, если поезд минует сигнал.



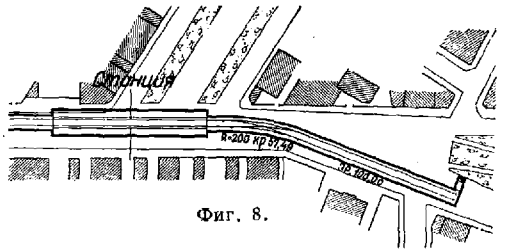
Фиг. 6.

Указанное расположение путей при пересечении и разветвлении линий М. должно строго проводиться при проектировании М. Иначе, как бы ни была усовершенствована сигнализация и как бы ни был дисциплинирован служебный персонал, шансы катастроф далеко не исключаются и отступления, даже временные, от указанных правил ведут к тяжелым последствиям. Достаточно сослаться на катастрофу на берлинском М., где один поезд врезался на стрелке в бок другого, или на недавнюю катастрофу на нью-йоркском М., происшедшую вследствие ошибочного перевода стрелки. В конечных пунктах, для возможной обратной подачи составов, линии М. устраивают в виде петель (фиг. 7) или оба пути продолжаются за станцию (фиг. 8), и маневры поездов происходят по стрелкам, как показано на схеме. В первом случае перевод составов с пути прибытия на путь отправления происходит без замедления при любой частоте отправления поездов и в условиях полной безопасности, но устройство петли в туннеле или на эстакаде обходится дорого. Второе решение более экономично, но представляет известную долю опасности столкновения (хотя и порожних составов) и кроме того маневры по стрелкам требуют известного времени, к торое ограничивает частоту отправления поездов.



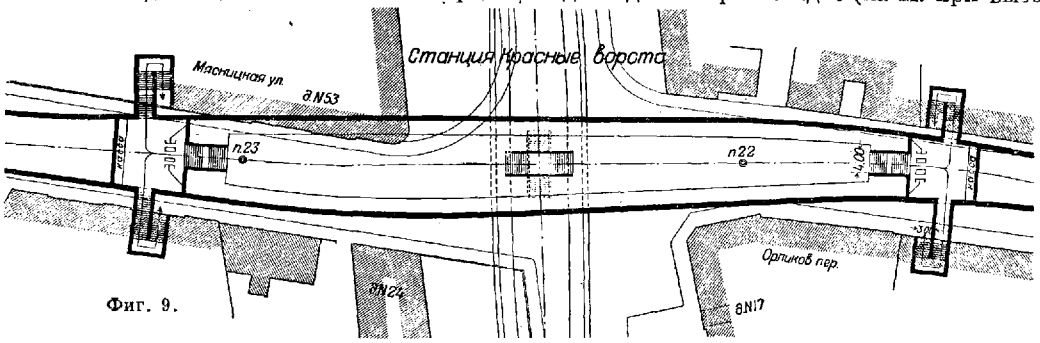
Фиг. 7.

Перроны на станциях М. устраиваются или островными (фиг. 9) или боковыми (фиг. 10). Островные перроны облегчают устройство входов и выходов со станции, особенно в тех случаях, когда входы в М. могут быть расположены посредине улицы. Особенно удобны островные перроны при наличии двух станций, расположенных одна над другой, для установления пересадок с одной линии на другую. Но станции с островными перронами обходятся сравнительно дорого гл. обр. потому, что для помещения перрона между путями последние приходится раздвигать еще задолго до подхода к станции (фиг. 9) и соответственно с этим устраивать с каждой стороны особые переходные раструбы от обыкновенного туннеля до туннеля станции, что обходится дорого. Кроме того станция в таком случае должна сразу же строиться на полную длину, какую можно предвидеть в будущем при развитии движения, т. к. при малейшем удлинении в будущем станции необходимо ломать весь рас-



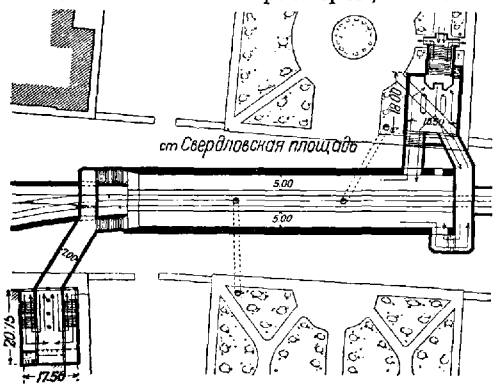
Фиг. 8.

труб и вновь строить его дальше от станции на полную длину его. Наконец при островных перронах пути подходят к станциям по S-образным кривым, обычно малых радиусов (иначе раструбы получаются чрезмерно удлиненными), что для эксплоатации пред-



Фиг. 9.

ставляет известное неудобство. При б о к о в ы х же перронах станционные пути являются прямым продолжением путей на перроне, без S-образных искривлений. Станционный тип сооружения сразу отчетливо и резко обрывается, как только кончается перрон, заменяясь нормальным типом сооружения без всяких промежуточных типов, что удешевляет общее устройство станции. Длина станции при постройке м. б. установлена в соответствии с требованиями движения в первое время, так как в будущем ее можно легко удлинить (над туннелем за станцией в таком случае строится станционный туннель бо́льших размеров, после чего



Фиг. 10.

первый туннель разбирается). Наконец некоторым удобством боковых перронов является и то, что пассажир, пройдя на нужный ему перрон, уже не может ошибиться и сесть на поезд, идущий в обратном направлении, что может случиться при островных перронах.

Длина станций соответствует длине максимального поезда с запасом около 10 *м* на установку поезда. Ширина перронов при боковом расположении колеблется в пределах от 3,5 до 5 *м*, а при островном—от 6 до 10 *м* (иногда и больше). Ширина перронов должна соответствовать числу пассажиров, ожидающих поезд, вместе с пассажирами, к-рые могут выйти из этого поезда. При большом наплыве публики, на перрон допускается (Париж) только такое количество пассажиров, какое может вместить первый подходящий поезд, для того чтобы пассажиры, ожидающие на перроне, могли быть уверены, что они попадут в вагоны, и не производили давки при посадке (на М. при высоких перронах беспорядки при посадке много опаснее, чем на трамвае). С таким расчетом должна назначаться и ширина перронов. Скорость прохода пассажиров по перронам (по данным Комиссии товарных и пассаж. станций при Америк. ж.-д. ассоциации) на М. составляет 1,7 *м/сек*, а если пассажиры идут толпой, то 1,55 *м/сек*. Пропускная способность лестниц уменьшается с высотой. При высоте в 6 *м* она составляет на М. 66 чел. в минуту на 1 *м* ширины лестницы (там же). На парижском М., при высоте от перрона до мостовой более 12 *м*, обязательно устройство лифтов или эскалаторов для публики. Америк. инженеры считают нецелесообразным устраивать механические приспособления при высоте 7,5 *м* и менее.

Вагоны М. должны удовлетворять двум основным требованиям: 1) опорожнение и заполнение их публикой при остановке на станции должно производиться возможно быстрее, т. к. при частых остановках коммерч. скорость на М. сильно зависит от времени стоянки на станциях; 2) вместимость вагонов д. б. максимальной. Первое условие удовлетворяется устройством в вагоне большого числа (от 3 до 4 с каждой стороны) широких дверей, дающих непосредственный выход, без ступеней, из вагона прямо на перрон, поднятый для этого высоко (почти до уровня пола вагона). При таких условиях на выход и вход пассажиров обычно тратится на станции не более 20—30 ск. (по данным Комиссии товарных и пассаж. станций при Америк. ж.-д. ассоциации на выход одного пассажира при ширине двери 1 *м* тратится в среднем ок. 1 ск.) Второе условие — увеличение вместимости вагонов — достигается особым расположением скамей, дающим больше мест для стояния, чем для сидения.

Короткая база тележек вагонов М. (около 2 *м*) дает возможность прохода по довольно крутым кривым. Эта возможность, при затруднении трасировки линий М. по городским улицам, в известных случаях широко используется, допуская на М. кривые с радиусом 60—75 *м* для главных линий и 30—40 *м* для служебных путей. Неизбежность встречи туннеля М. с другими подземными сооружениями, пересечение их

друг с другом, а также переход от надземного типа М. к подземному заставляют при проектировании в профиле применять довольно крутые уклоны, до 0,040—0,050, соответственно с чем д. б. рассчитаны моторы вагонов и тормозные приспособления.

Особое внимание на М. обращается на освещение туннелей. Катастрофа в Париже на ст. Куронн в 1903 г. показывает, какую панику и какие ужасные последствия может вызвать внезапное погружение туннеля в темноту. Поэтому теперь осветительную сеть М. делают совершенно независимой от тракционных проводов. Кроме того на всем своем протяжении туннель должен освещаться двумя независимыми друг от друга сетями с питанием из разных источников, так что в случае аварии на одной сети освещение туннеля все же будет наполовину обеспечено. Сверх этого питание электрическим током части лампочек, а также освещение всех световых надписей на станции с указанием выходов, пересадок и пр., должно быть обеспечено дополнительно, особыми аккумуляторными батареями.

На некоторых М. воздух в туннелях очень тяжел для пребывающих в нем (например в Париже на некоторых линиях). Явление это однако вполне устранимо (и в настоящее время устраняется) при надлежащем устройстве одной только естественной вентиляции. Как показал опыт, для этого достаточно вывести из туннеля до поверхности земли, через 150—200 *м* друг от друга, вытяжные шахты с площадью поперечного сечения ок. 4 *м*². Поезд при проходе действует в туннеле как поршень и выдавливает перед собою воздух через шахту. В нек-рых случаях (Нью Йорк) теплота, выделяемая моторами быстро следующих друг за другом поездов, настолько поднимает $t°$ воздуха в туннеле, что одной естественной вентиляции оказывается недостаточно и приходится в вытяжных шахтах устанавливать особые эксгаустеры. Озонирование туннелей М. пока не дало благоприятных результатов. Приходилось даже иногда вследствие жалоб служащих, принужденных долго дышать озоном, снимать установленные озонаторы. (О вентиляции М. см. *Туннели городские*.) На парижском М. усиленно применяется дезинфекция туннелей: три раза в день, после наплыва публики, перроны, а также лестницы и переходы на станциях обливают особым раствором (1 *г* хлорной извести на 1 *л* жавелевой воды консистенции 3 : 1 000 по объему). Даже балласт пути на всем протяжении ежедневно обливают раствором из смеси обыкновенной извести с хлорной известью (25 *г* на 1 *л* воды). Вагоны М. ежедневно, б. ч. ночью, подвергают осмотру, чистят, моют и дезинфицируют. Через 4—7 дней их обязательно подвергают подробному дневному осмотру и, если нужно, мелкому и среднему ремонту. После 25 000—30 000 *км* пробега для моторных и 50 000—70 000 *км* пробега для прицепных вагонов они поступают в капитальный ремонт.

Так как М. обслуживает гл. обр. густо населенные части города, где подыскание площади для постройки депо в соответствии с полным инвентарным количеством вагонов вызывает известные затруднения, то часто на М. в депо посылают вагоны только для дневного осмотра и мелкого ремонта, производимого через 4—7 дней, бо́льшую же часть вагонов осматривают, моют, дезинфицируют и оставляют на ночь в туннелях, на гаражных путях, снабженных смотровыми ямами. На этих же путях вагоны ожидают в спокойные часы выхода на линию для усиления движения при наплыве публики (с соблюдением указанных выше предосторожностей). При таком использовании туннелей для стоянки и осмотра вагонов площадь депо М. на поверхности сокращается в 4—7 раз. Количество вагонов М., находящихся в капитальном ремонте в мастерских, колеблется в пределах от 7 до 10% инвентарного количества сети. Расположение парковых путей, депо и мастерских, а также конструкция их на М. очень разнообразны, но в общем по типам не отличаются сильно от установившихся на трамваях и электрифицированных железных дорогах.

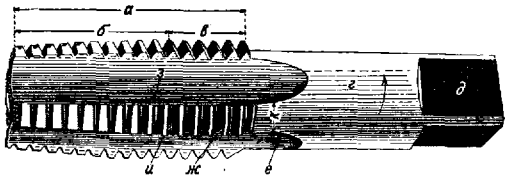
Лит.: Гиршон Г., Городские дороги большой скорости, т. 1—2, СПБ, 1900 и 1901; Цеглинский К., Метрополитены Берлина и Парижа, СПБ, 1910; Основн. положения проекта сооруж. в г. Москве внеуличных дорог большой скорости и электрификации магистральных ж. д. в районе пригор. сообщения, М., 1913; Шереметевский М. П., Основные приемы расчета движения по проектируемым линиям метрополитена, «Ж.-д. дело», М., 1915; По вопросу о сооружении метрополитена и развитии сети гор. ж. д. в г. Петрограде, П., 1917; Большие города З. Европы, М., 1926; Гербко А. В., Московский метрополитен, М., 1927; Матвеев И. Н. и Розанов С. Н., Парижский метрополитен после мировой войны, «Коммун. х-во», М., 1927; Розанов С. Н., Метрополитен и пригородное сообщение в больших городах, там же; его же, Вопросы метрополитена, «СП», М., 1928; Wittig P., Die Weltstädte u. d. elektrische Schnellverkehr, B., 1909; Gerlach Fr., Die elektrische Untergrundbahn d. Stadt Schöneberg, B., 1911; Schimpf C., Wirtschaftliche Betrachtung über Stadt- u. Vorortbahnen, Berlin, 1913; Musil F., Die elektrischen Stadtschnellbahnen d. Vereinigten Staaten v. Nordamerika, B., 1913; Macholl A., Die Profilgestaltung d. Untergrundbahnen, Mch.—B., 1914; Giese E., Die im Betrieb u. Bau befindlichen Schnellbahnen in Gross-Berlin, B., 1915; Giese E., Schnellstrassenbahnen, B., 1917; Wittig P., Die Architektur der Hoch- u. Untergrundbahn in Berlin, B., 1922; Kipnasse E., Die Hamburger Hochbahn-Actiengesellschaft in verkehrspolitischer und sozialpolitischer Beziehung, B., 1925; Hervieu J., Le chemin de fer Métropolitain municipal de Paris, t. 1—2, P., 1903—1908; Biette L., Les chemins de fer urbains parisiens, Paris, 1928; Gilbert H. a. others, The Subways a. Tunnels of New York, New York, 1912; Thomas J. P., Handling London's Underground Traffic, London, 1928; Otamendi M., Metropolitano Alphonso XIII, Madrid, 1921—1924.

С. Розанов.

МЕТЧИК, инструмент, который служит для нарезания внутренней винтовой резьбы в предварительно просверленных отверстиях самоходом, т. е. таким образом, что М. сам вырабатывает в стенках отверстия необходимые для его работы винтовые направляющие. Следовательно М. не нуждается в механизме, сообщающем ему при нарезании резьбы осевую подачу, как напр. гребенки и т. п. винторезные инструменты, а единственной задачей приводящего его в движение рабочего или станка будет вращать М., не мешая ему в то же время двигаться аксиально.

В основном М. представляет собой цилиндрический стержень с нарезанной на нем резьбой, к-рая разбита на отдельные поля, или гребенки, рядом канавок. В дальнейшем принимаем следующие обозначения (фиг. 1): нарезанный участок *a* стержня в целом—

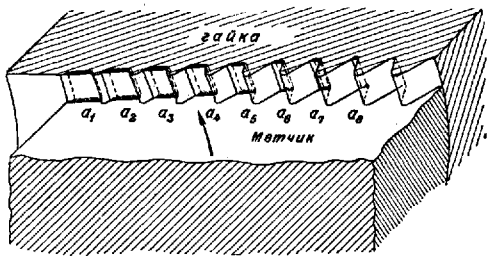
резьбовой стержень; передняя, заточенная на конус часть его *б*—приемный, или заборный конус; остальная часть *в* резьбового стрежня—направляющий, или калибрующий, цилиндр; задняя, лишенная нарезки часть М., *г*—шейка; верхняя часть шейки *д*—головка, или квадрат; углубления *е*, выфрезованные в резьбовом стержне,—канавки;



Фиг. 1.

остающиеся между канавками части резьбы *ж*—гребенки, или поля; кромка или грань гребенки, лежащая по направлению рабочего движения М., *з*—рабочая, или режущая кромка или грань (грудь); противоположная ей *и*—задняя кромка или грань; размер *к*—ширина поля. По роду совершаемой ими работы М. разделяются на: 1) слесарные, или ручные, М.—нормальные цилиндрич. М., служащие не только для нарезания дыр вручную, но и для нарезания на станках глухих отверстий; 2) гаечные М., ручные и машинные,—применяемые для нарезки гаек в один проход от руки или на особых станках; 3) машинные М.—для нарезки резьбы на токарных или сверлильных станках, а также на револьверных станках и автоматах; 4) газовые (трубные) М.—для нарезания газовой (трубной) резьбы на трубах и арматуре; эти м.тчики делают как цилиндрическими, так и коническими; 5) котельные М.—для нарезки резьбы в стенках паровых котлов; они делаются несколько меньшего диаметра, чем нормальные М., для достижения паронепроницаемости винтового соединения; 6) кузнечные М.—сходны со слесарными, но с бо́льшими допусками и более грубой работы; 7) анкерные М.—для одновременной нарезки отверстий под анкера в обеих стенках огневых коробок паровозных котлов; 8) шкивные М.—с особенно длинной шейкой для нарезки отверстий под установочный болт во втулках ременных шкивов небольшого диаметра; 9) пробочные М.—специальные конич. М. для нарезки отверстий под пробки в паровозных котлах и химич. аппаратуре; 10) экипажные М. (амбарные М.)—М. с большими допусками для гаек, применяемых в экипажном и плотничном деле; 11) плашечные М.—для нарезания плашек для клуппов; 12) лерочные, или прогоночные, М.—для нарезания лерок (цельных плашек); 13) машинно-плашечные М.—для нарезания гребенок винторезных головок; 14) лерочные калибровочные М.—для зачистки резьбы в лерках после проделывания в них канавок (см. *Плашки*). По роду нарезаемой резьбы М. делятся на два больших класса: для треугольной нарезки и для трапецоидальной или квадратной нарезки. По устройству различают постоянные М. (нормальные, огромное большинство), переставные М.—с диаметром, изменяемым в небольших пределах, и раздвижные М., применяемые на револьверных станках и автоматах, устроенные по типу раздвижных винторезных головок типа Геометрик или Ландис.

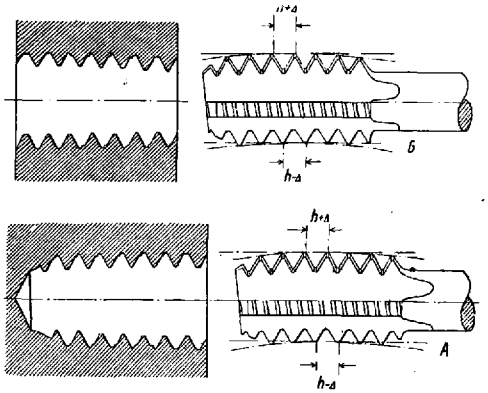
Основные принципы конструкции М. Способ работы М. схематически изображен на фиг. 2: зубцы, расположенные на заборном конусе, вследствие конич. формы этой части М. в каждой следующей (по направлению, обратному движению М.) гребенке немного выступают по сравнению с предыдущими, так что каждый зубец снимает тонкую, трапецевидную стружку a_1, a_2, ..., a_8. Зубцы направляющего цилиндра не должны производить работы резания и служат исключительно для сообщения М. необходимого для его работы осевого движения. Высказанное требование, предъявляемое к зубцам направляющего цилиндра, будет однако выполнено лишь в том случае, если ось М. представляет собой прямую линию, если шаг нарезки М. постоянен как от одной нитки к другой, так и по длине каждой нитки (т. е. постоянен угол подъема винтовой линии) и если средний диаметр нарезки цилиндра остается постоянным по длине его или немного уменьшается по направлению к



Фиг. 2.

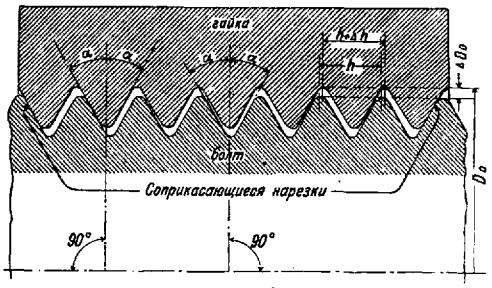
шейке; при невыполнении этих условий зубцы направляющего цилиндра будут также участвовать в резании. При работе метчика окончательная форма нарезки получается после того, как нитка будет пройдена последним зубцом заборного конуса,—всякие дальнейшие изменения формы нарезки будут ее лишь портить; поэтому требование, чтобы цилиндрическая часть не участвовала в резании, является существенно важным для получения правильной нарезки. Необходимо однако отметить, что на практике это требование м. б. выполнено лишь при работе М., изготовленными из специальной некоробящейся при закалке стали или отшлифованными в резьбовой части после закалки. М. из обыкновенной стали коробятся при закалке; наиболее часто встречается изгиб оси М. и изменение его размеров, причем у М. из углеродистой стали происходит увеличение диаметра, сопровождаемое укорочением всего М., а у М. из легированных сталей часто наблюдается обратное. Форма нарезки, получающейся при работе кривым М., изображена на фиг. 3; при этом у М. шаг h становится меняющимся по длине нитки, а именно: он увеличен $(h + \Delta)$ с

выпуклой и уменьшен ($h-\Delta$) с вогнутой стороны. Резьба, нарезанная таким метчиком, имеет различный характер в глухих и сквозных отверстиях; в первых (фиг. 3, *А*) она имеет коническую, расширяющуюся кнаружи, общую форму и нарезку меняющегося



Фиг. 3.

по длине профиля, менее искаженного в глубине и более у края отверстия; в сквозном отверстии (фиг. 3,*Б*) основная форма нарезки получается цилиндрической, но большего диаметра, чем сам М., и с испорченным профилем резьбы. Одним из паллиативных способов, применяемых для компенсирования искажения шага нарезки М. при закалке, является увеличение диаметра метчика; на фиг. 4 изображена посадка правильного винта и гайки с нарезкой правильной формы, но с шагом, слегка отличным от шага винта; для того чтобы соединение вообще могло иметь место, необходимо, чтобы средний диаметр нарезки D_0 гайки был на ΔD_0 больше, чем таковой же винта. Обозначая



Фиг. 4.

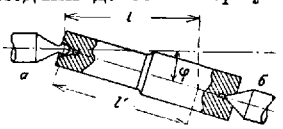
n—число ниток в гайке, h—ход винта, Δh—разницу в ходе на одну нитку, 2α—угол при вершине нарезки, L—длину гайки, и полагая, что первая и последняя нитки плотно соприкасаются, имеем:

$$\Delta D_0 = \frac{n\Delta h}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{L}{\operatorname{tg}\alpha}\cdot\frac{\Delta h}{h};\quad \frac{\Delta D_0}{D_0} = \frac{\Delta h}{h}\cdot\frac{L}{D_0}\cdot\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}. \quad (1)$$

У углеродистой стали $\frac{\Delta h}{h}$ порядка 0,15—0,2%; у употребительных нарезок $2\alpha = 55 \div 60°$, т. е. в среднем $\operatorname{tg}\alpha \cong 0{,}55$; $\frac{L}{D_0}$ обычно равно 1; так. обр. для нормальных условий имеем:

$$\frac{\Delta D_0}{D_0} = 0{,}28 \div 0{,}36\%.$$

Мера эта однако ни в коем случае не может быть признана достигающей своей цели; действительно, наощупь гайка сидит без игры прочно на винте, но при действии нагрузки будет работать лишь одна нитка, а следующие лишь тогда придут в соприкосновение, когда деформация сдвига первой нитки $\frac{\Delta h}{h}$ будет больше соответственной игры, т. е. $\geqslant 0{,}0015$—$0{,}0020$, чему соответствует напряжение сдвига $\tau = 1\,200 \div 1\,600$ *кг/см²*, т. е. лежащее на границе допустимого; кроме того конечно эти напряжения возрастают по мере увеличения нагрузки, когда начинают работать третья, четвертая и т. д. нитки. Второй способ компенсации изменения длины М. при закалке состоит в нарезании резьбы с соответственно удлиненным или укороченным шагом. Теоретически против этого способа компенсации ничего возразить нельзя; на практике однако осуществление его наталкивается на ряд затруднений: 1) закалочная усадка меняется даже в пределах одного бруска и может разниться довольно значительно в образцах, взятых из различных брусков одной плавки; 2) нарезание на метчике резьбы шага, мало отличающегося от нормального, на обыкновенном токарном станке затруднительно. Обычным способом нарезания удлиненной резьбы является смещение центра рейштока (фиг. 5); при этом центр бабки a д. б. снабжен вместо острия шариком, равно как и центр рейштока, или же последний д. б. повернут (*б*) по направлению оси обтачиваемого М. Называя через l и l' пути, проходимые суппортом относительно станка и резцом относительно М., α и



Фиг. 5.

ω_1 — угол поворота и угловую скорость шпинделя передней бабки, ω_2—соответственную угловую скорость М., ведомого поводком, и φ—угол между осями бабки и М., имеем:

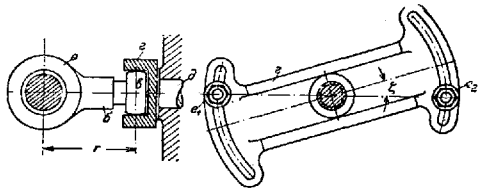
$$\frac{l'}{l} = \frac{1}{\cos\alpha} \quad \text{и} \quad \omega_2 = \omega_1\cdot\frac{\cos\alpha}{1-\sin^2\varphi\sin^2\alpha},$$

т. е. ω_2 имеет максимум, равный $\frac{\omega_1}{\cos\alpha}$ при $\varphi = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \ldots, \frac{(2n+1)\pi}{2}$, и минимум, равный $\omega_1 \operatorname{ccs}\alpha$ при $\varphi = 0, \pi, 2\pi, \ldots, n\pi$; отсюда получаем $\frac{\omega_{2max}}{\omega_{2min}} = \frac{1}{\cos^2\varphi}$. Так как поступательная скорость движения супорта с резцом зависит лишь от угловой скорости шпинделя и при $\omega_1 = \text{Const}$ постоянна, а скорость вращения М. изменяется, то нарезаемая при этом резьба будет иметь переменный угол подъема винтовой нарезки χ, к-рый дважды за один оборот нитки будет иметь максимальное и минимальное значения, причем относительная окружная ошибка угла подъема будет равна $\Delta\chi = 1 - \frac{1}{\cos^2\alpha}$. Обозначая через $\frac{\Delta l}{l} = \Delta h = \frac{l'-l}{l}$ осевую коррекцию шага, имеем:

$$\Delta\chi = 2\Delta h + (\Delta h)^2, \quad (2)$$

т. е., исправляя шаг в осевом направлении, мы вводим более чем вдвое бо́льшую ошибку в угле подъема нарезки по окружности

витка. Второй, значительно более совершенный способ коррекции шага состоит в подборе шестерен, дающих требуемый, отличающийся от нормального на величину усадки шаг. Этот способ однако в виду незначительной разницы между нарезаемым и нормальным шагом приводит обыкновенно к весьма крупным несократимым числам зубцов передаточных шестерен. Подбирая последние методом непрерывных дробей, удается иногда получить весьма близко подходящее к истинному приближенное передаточное число, к-рое однако м. б. осуществлено обычно лишь при условии изготовления одной или двух шестеренок перебора с необычными числами зубцов. Этот способ имеет еще и то неудобство, что, раз открывши замок ходового винта, очень трудно попасть опять на нитку, так что приходится обратное движение супорта производить вращением в обратную сторону шпинделя, не нарушая связи между ним и ходовым винтом. Наилучшим способом является третий, требующий однако некоторых изменений в конструкции станка: гайка ходового винта (фиг. 6, *а*) сделана неразъемной и установлена в супорте в подшипниках, позволяющих ей вращаться вокруг оси винта, но не дающих ей аксиальной свободы перемещения относительно супорта. Тело гайки снабжено приливом *б*, к к-рому прикреплен ролик *в*, обделанный по наружной поверхности в форме шарового пояса; ролик этот ходит без игры в вырезе линейки *г*, могущей вращаться вокруг оси *д* и закрепляемой под любым углом ζ к оси винта при посредстве гаек e_1 и e_2. При движении супорта ролик *в*, перемещаясь по линейке *г*, поворачивает в ту или другую сторону гайку винта и тем увеличивает или уменьшает действительное перемещение l супорта по сравнению с теоретическим, получаемым из числа



Фиг. 6.

n оборотов ходового винта и его хода h_1 и равным nh_1. Относительное удлинение (+) и укорочение (—) нарезаемой резьбы

$$\Delta h = \frac{l - nh_1}{nh} = h_1 \frac{\operatorname{tg}\zeta}{2\pi r}, \qquad (3)$$

откуда

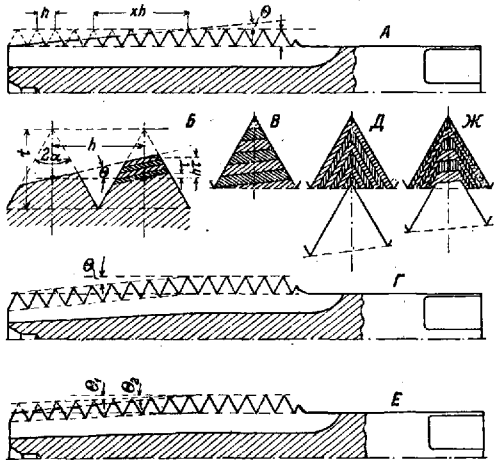
$$\operatorname{tg}\zeta = \frac{2\pi r \Delta h}{h_1}. \qquad (4)$$

Знаки + и — действительны для ходового винта с правой резьбой и нормального тригонометрич. правила знаков для угла ζ.

Распределение снимаемой стружки на отдельные зубцы М. зависит от формы заборного конуса и числа канавок. На фиг. 7, *А* изображена гребенка метчика нормального типа с цилиндрич. резьбой и заточенным заборным конусом длиной l с углом образующей θ. Углубление нарезки между двумя соседними зубцами гребенки представлено на фиг. 7, *Б*, заштрихованной более густо площадкой; так как эта работа при правильной конич. заточке заборного конуса распределяется равномерными слоями между n зубцами (n — число канавок), то общая высота стружки, снятой между двумя соседними зубцами одной гребенки

$$\tau_1 = h \operatorname{tg}\theta = n\tau, \text{ или } \operatorname{tg}\theta = \frac{n\tau}{h}, \qquad (5)$$

где h—ход винта, а τ—толщина стружки, приходящейся на один зубец. Ясно, что



Фиг. 7.

для снятия всей высоты t винтовой нарезки необходимо, чтобы в заборном конусе заключалось m ниток:

$$m = \frac{t}{n\tau}, \quad l = mh = \frac{t}{\operatorname{tg}\theta}.$$

Порядок последовательного выполнения нарезки при этом способе заточки конуса изображен схематически на фиг. 7, *В*. Ясно, что малейшая неточность одного из зубцов вызовет неминуемо порчу сторон нарезки, т. е. ее главной несущей части. Кардинально отличается от указанного способ устройства заборного конуса, изображенный на фиг. 7, *Г*: здесь сама резьба на этой части М. выполнена конической, причем в переднем конце М. наружный диаметр нарезки равен внутреннему диам. готовой резьбы. Распределение стружек, снимаемых между соседними зубцами одной гребенки, изображено схематически на фиг. 7, *Д*. При предыдущем способе заточки, в основном, каждый зубец резал своей плоской стороной, здесь же он режет своими боковыми гранями; следствием этого является то, что хотя в этом случае исключена до известной степени возможность порчи боков нарезки, но условия схода стружки с режущих кромок получаются весьма невыгодными. На фиг. 7, *Е* изображена гребенка М., заточенного по комбинированному способу: резьба имеет конусность с углом θ_1, и кроме того верхушки сняты по конусу с углом θ_2; последовательность снятия стружек представляет собой объединение обоих первых типов (фиг. 7, *Ж*). Первый тип М. снимает каждым зубцом стружку площадью

$$\sigma_1 = 2xn\tau^2 \operatorname{tg}\alpha = \frac{2h^2 \operatorname{tg}\alpha}{n} x \operatorname{tg}^2\theta, \qquad (6)$$

где x—номер зубца, считая от цилиндрич. части М. Площадь стружки, снимаемой зубцом М. второго типа, м. б. выражена ф-лой

$$\sigma_2 = h\tau - 2x n\tau^2 \operatorname{tg}\alpha = \frac{2h^2 \operatorname{tg}\alpha}{n} \operatorname{tg}\theta \left(\frac{1}{2\operatorname{tg}\alpha} - x \operatorname{tg}\theta\right), \quad (7)$$

тогда как в третьем случае стружка, снимаемая одним зубцом, имеет площадь

$$\sigma_3 = \frac{2h^2 \operatorname{tg}\alpha}{n}\left[\frac{\operatorname{tg}\theta_1}{2\operatorname{tg}\alpha} + x(\operatorname{tg}^2\theta_2 - \operatorname{tg}^2\theta_1)\right] \quad (8)$$

Как видно из этих формул, в М. первого типа площадь стружки на один зубец постепенно уменьшается от переднего, резьбового торца и цилиндрич. части, во втором сечение стружки в том же направлении увеличивается, а в третьем увеличивается или уменьшается в зависимости от знака разности $\operatorname{tg}^2\theta_2 - \operatorname{tg}^2\theta_1$; в том случае, когда $\theta_1 = \theta_2 = \theta$, площадь стружки остается постоянной по всей длине М., равной:

$$\sigma'_2 = \frac{h^2}{n} \operatorname{tg}\theta. \quad (9)$$

Недостатком первого типа метчика является слабость направляющего ребрышка в начале нарезания резьбы, т. е. как раз в момент снятия наиболее крупной стружки; поэтому метчики этого типа часто, в особенности в хрупком материале (чугун, латунь), работают вначале просто как развертки, пока им искусственно не дадут нужного поступательного движения и нарезка не заберет хода. М. второго типа, наоборот, в начале нарезания имеют минимальную площадь стружки и поэтому сразу забирают ход; недостатком, мешающим применению их в пластич. материалах (мягкое железо, медь), является неудобство схода стружки с резца, затруднительность точки и сложность производства. Идеальной формой нарезки М. является комбинированная при соответственном подборе углов θ_1 и θ_2; единственным, правда крупным, недостатком ее является затруднительность нарезания самого М. в процессе производства.

Толщина τ стружки, снимаемой одним зубцом, зависит от шага резьбы, нарезаемого материала и системы М. Толщина изменяется прямо пропорционально шагу, так что отношение $\frac{\tau}{h} = c_1$ представляет собой для данных условий постоянную величину. В европейской практике для c_1 приняты следующие средние значения (по Туссену)

Ручные М.	0,01 —0,012
Машинные М.	0,004 —0.006
Плашечные и лерочные М.	0,002—0,003

По данным америк. практики эта постоянная имеет значения, указанные в табл. 1.

Последний тип М. (лерочные) сконструирован по другому методу, а именно, у него не $\frac{\tau}{h} = \text{Const}$, а сама толщина снимаемой стружки почти не зависит от диаметра М. и изменяется от 0,000125 *мм* до 0,000165 *мм* при изменении диам. от $^1/_4''$ до $1^1/_2''$.

Ручные слесарные М. обычно изготовляются наборами по три, из к-рых первый—начальный, или черновой, служит для предварительной нарезки, а второй—средний, или получистовой, служит для окончательной нарезки сквозных отверстий или для получистовой нарезки глухих дыр, тогда как отделочный, или чистовой, М. применяется для окончательной отделки глухих нарезанных отверстий. Распределение стружки на отдельные М. набора м. б. сделано двумя различными способами. Первый, применяемый главным образом для проходных М., изображен на фиг. 8а; в наборе этого типа все три М. имеют одинаковую основную нарезку, различие заключается только в форме заборного конуса. У чернового метчика конус имеет длину, определенную по условию $c_1 = 0{,}0135$, т. е. в витвортовых М., напр. с глубиной нарезки, равной $0{,}65h$, длина заборного конуса

$$l_1 = \frac{48}{n}h; \text{ при } n = 4,\ l_1 = 12\,h,$$
$$\operatorname{tg}\theta_1 = 0{,}0542,\ \theta_1 = 3°\,6';$$

длина заборного конуса среднего М.:

$$l_2 = \frac{20}{n}h; \text{ при } n = 4,\ l_2 = 5\,h,$$
$$\operatorname{tg}\theta_2 = 0{,}1300,\ \theta_2 = 7°\,25';$$

длина заборного конуса чистового М.:

$$l_3 = \frac{6}{n}h; \text{ при } n = 4,\ l_3 = 1{,}5\,h,$$
$$\operatorname{tg}\theta_3 = 0{,}4325,\ \theta_3 = 23°\,23'.$$

Для метрич. М. с глубиной нарезки, равной $0{,}695h$, длины конусов соответственно равны:

$$l_1 = \frac{51{,}4}{n}h \text{ (при } n = 4,\ l_1 = 12{,}8\,h);$$
$$l_2 = \frac{21{,}4}{n}h \text{ (при } n = 4,\ l_2 = 5{,}35\,h);$$
$$l_3 = \frac{6{,}4}{n}h \text{ (при } n = 4,\ l_3 = 1{,}6\,h).$$

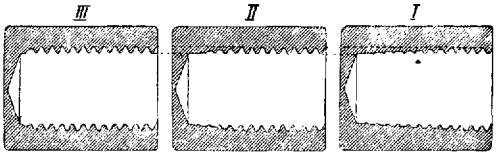
Табл. 1.—Значения постоянной c_1 для М. различных типов.

Типы М.	Среднее значение	Для нарезки $^1/_4''$	$^3/_4''$	$1^1/_2''$	$1^3/_4''$
Ручные	0,0135	—	—	—	—
Гаечные ручные	0,005	0,00515	0,00505	0,0049	—
Машинные гаечные	0,006	0,0059	0,0065	0,00515	—
Анкерные	0,0024	—	—	—	—
Кузнечные	0,01	0,0118	0,0091	0,0083	—
Прямые котельные ручные	0,0075	—	0,0108	0,0078	0,0052
Плашечные	0,0036	0,0049	0,00384	0,00343	0,00314
Машинные плашечные	0,0036	0,00328	0,00406	0,0036	—
Лерочные	—	0,0025	0,0019	0,00099	—



Фиг. 8а.

Иногда в метрич. М. оставляют те же длины конусов, что и для витвортовских, тогда углы θ принимают соответственно след. значения: $\theta_1 = 3°20'$, $\theta_2 = 7°55'$, $\theta_3 = 24°50'$. При этой системе набора на практике обычно черновому метчику дают недомерок по среднему диаметру нарезки, равный от 0,05 до $0{,}08t$; тогда нарезка в сквозном отверстии после прохода ее средним М. будет иметь правильные размеры; чистовой метчик в этом наборе применяется лишь для нарезания резьбы до дна в глухих отверстиях (на фиг. 8б, *I*, *II* и *III* показана нарезка после прохода ее черновым, средним и чистовым М.). Крупным недостатком этого способа распределения работы по отдельным М. набора, исключающим возможность применения М. этого типа для точной нарезки, является то обстоятельство, что неравномерная закалочная усадка хотя бы одного из трех М. вызывает порчу нарезаемой

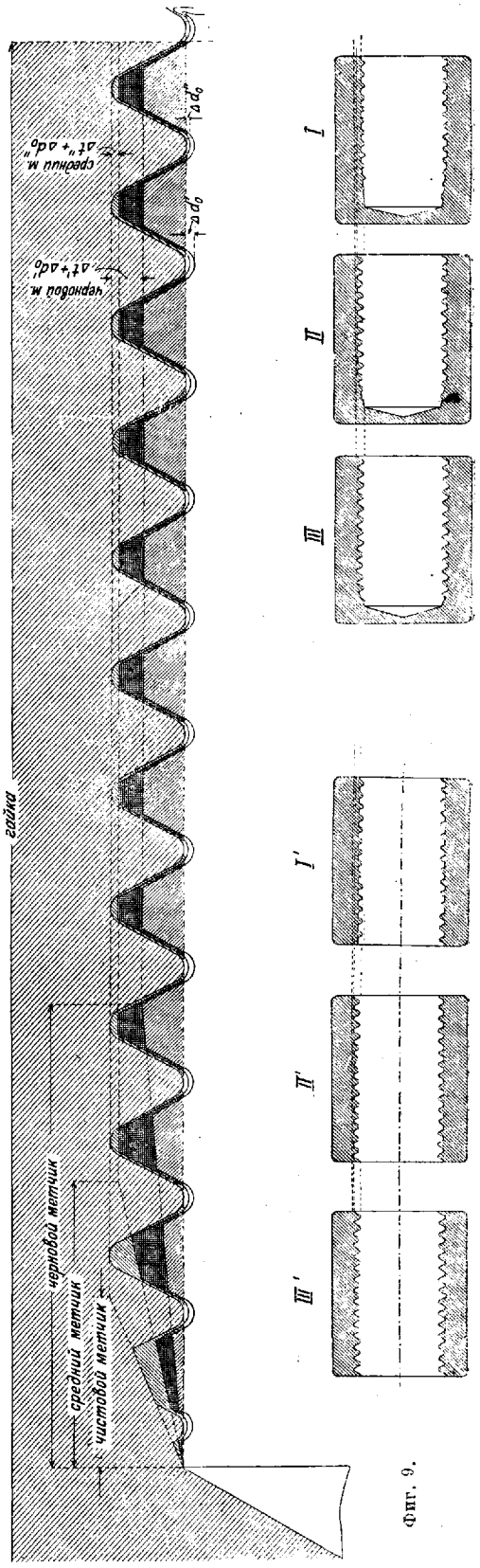


Фиг. 8б.

резьбы. Избежать неравномерной усадки, по крайней мере при нормальных сортах стали, невозможно; поэтому для нарезания точной резьбы применяют распределение снимаемой стружки на отдельные М. по способу, схематически показанному на фиг. 9. При этом способе работа более равномерно распределяется на все три М. набора, причем следует стремиться, чтобы черновой М. совершал примерно 0,6 всей работы, средний—0,3, а чистовой—0,1. Для уничтожения влияния закалочной усадки все три М. делают различного среднего диаметра. Величина разности диам. двух соседних М.— Δd д. б. достаточно большой, чтобы следующий М. наверняка срезал все неправильности нарезки, возникшие вследствие закалочной усадки предыдущего. Как было выведено выше,

$$\frac{\Delta d_0}{d_0} = \frac{\Delta h}{h} \cdot \frac{L}{d_0} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

Закалочная усадка колеблется в пределах 0,135—0,15—0,18% для метчика нормальной длины и 0,25—0,28% для особо длинных (анкерных) М.; L принимают равным d и $\frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \cong 1{,}74$ и 1,93; следовательно для коротких метрических М. $\frac{\Delta d_0}{d_0} = 0{,}235 \div 0{,}261 \div \div 0{,}313\%$, для длинных метрических М.— $0{,}435 \div 0{,}488\%$; для коротких витвортовских соответственно $0{,}26 \div 0{,}29 \div 0{,}348\%$ и $0{,}483 \div 0{,}54\%$. Обычно однако Δd_0 выражают не в долях диам., а относят его к глубине нарезки t. Отношение $\frac{d_0}{t}$ не остается постоянным для винтов различных диам. и систем *нарезок* (см.) и изменяется в пределах 5,9—14,1 для винтов от $^1/_{16}$ до 2 дм. с нарезкой Витворта, от 6,2 до 13,8—для тех же пределов американ. стандартной нарезки (Селлерса) и от 6,30 до 14,6 для метрич.



Фиг. 9.

нарезки; среднее значение $\frac{d_0}{t}$ в этих пределах равно 10,6. Т. о. получаем для $\frac{\Delta d_0}{t}$ в среднем значения ~ 3% для коротких и 5% для длинных М. Как видно из рис. 9, у М. кроме уменьшения средних диаметров еще срезана часть нарезки по всей длине М. для распределения работы резания на отдельные М. набора по приведенной выше раскладке. Величина $\frac{\Delta t}{t}$ — уменьшения глубины нарезки данного М. по сравнению с глубиной окончательной нарезки определяется опытным путем и зависит кроме рода нарезаемого материала также от углов резания, задней заточки и формы режущего острия М. Различные авторы дают значения $\frac{\Delta d_0}{t}$ и $\frac{\Delta t}{t}$, приведенные в табл. 2.

Табл. 2.—Величины недомеров диаметров М.

Источник	$\Delta d_0 : t = c_2$		$\Delta t : t = c_3$	
	Черновой М.	Средний М.	Черновой М.	Средний М.
Валентин для нарезки Селлерса	0,246	0,123	0,277	0,038
Валентин для нарезки Витворта	0,246	0,123	0,284	0,064
Туссен	0,20	0,10	0,50	0,20
Иогансен	0,30	0,15	0,35	0,14

Machinery's Handbook дает следующие значения для $\frac{\Delta d_0 + 2\Delta t}{2t}$: для черновых М.—0,50, для средних 0,167; точных данных о значении величины $\frac{\Delta d_0}{2t}$ в этом источнике не имеется.

Наружный диаметр метчика

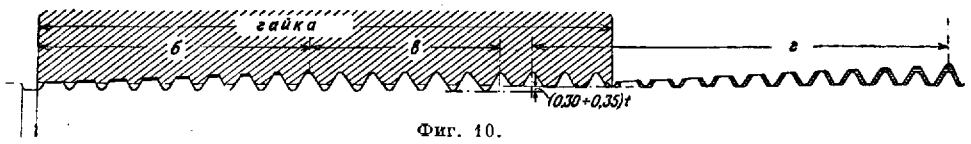
$$D_a = d_a - (c_2 + 2c_3)t,$$

где d_a—наружный диам. соответствующей нарезки. Длина заборного конуса в М. второго типа делается укороченной, т. к. работа резания, приходящаяся на каждый М. набора, уменьшена по сравнению с М. первого типа: длина конуса чернового М. может быть определена как у цилиндрич. М., исходя из действительной высоты нарезки, подлежащей срезыванию при работе данным М.; высота эта равна $t(1-0{,}5c_2-c_3)$; т. о. получаем длину заборного конуса чернового М.

$$l = \frac{ht(1-0{,}5c_2-c_3)}{n\tau} = \frac{t}{n}\cdot\frac{1-0{,}5c_2-c_3}{c_1};$$

напр. для размеров чернового М., рекомендованных Туссеном, получаем $l = (5{,}75 \div 7{,}0)h$; этот же автор рекомендует для среднего М. делать длину конуса равной $0{,}5l$. По данным америк. практики длину заборного конуса делают однако меньшей, а именно $l_1 = 4h$, $l_2 = 2{,}5h$ и $l_3 = 1{,}5h$, чему соответствуют углы наклона образующей конуса для нарезок: Витворта соответственно 5° 60′, 12°38′ и 23°6′; Селлерса (USST или AST)—5°34′, 13°10′ и 23°23′; метрической (при недомерах по Туссену)—4° 14′, 12° 31′ и 26° 15′. На фиг. 9 изображены последовательные стадии нарезания глухого (*I*, *II* и *III*) и сквозного (*I′*, *II′* и *III′*) отверстия набором метчиков этого типа. Для отличия обоих типов наборов их иногда называют: первые—конич. слесарными М., а вторые—цилиндрическими.

Для нарезания на станках точной сквозной нарезки за один проход сконструированы т. н. М.-тендем, представляющие собой два последовательно включенных М., разделенных цилиндрической нарезанной частью (фиг. 10, *в*); из них первый делается на 0,6—0,7*t* меньшего диаметра, чем второй, играющий роль чистового. Длина заборного конуса (*б*) первого метчика делается равной $9h$, второго (*г*)—$13h$, что соответствует одинаковому для обеих частей углу наклона образующей конуса, равному 2° 50′. Распределение снимаемой стружки по обеим частям метчика видно из фиг. 10 (стружка, снятая каждым зубцом, зачернена; у чистовой половины М. заштрихована площадь, снятая этой частью). М.-тендем обычно снабжается направляющей частью *а*, отшлифованной с небольшим отрицательным допуском по калибру отверстия под резьбу; длину цилиндрич. промежуточной части *b* делают достаточной для того, чтобы чистовая часть начинала резать не раньше, чем черновая начнет выходить из отверстия. Во всяком случае для достаточно надежного направления чистовой части необходима длина цилиндрич. пояса не менее 5—$7h$. Преимуществом этого М. перед обыкновенным машинным является более правильное распределение стружки на отдельные зубцы и кроме того надежное направление в начале нарезки, в виду более широких остающихся на стенках отверстия ниток и менее широких первых режущих кромок гребенки. Особенно неблагоприятны условия схода стружки и работы М. вообще при нарезании трапецоидаль-

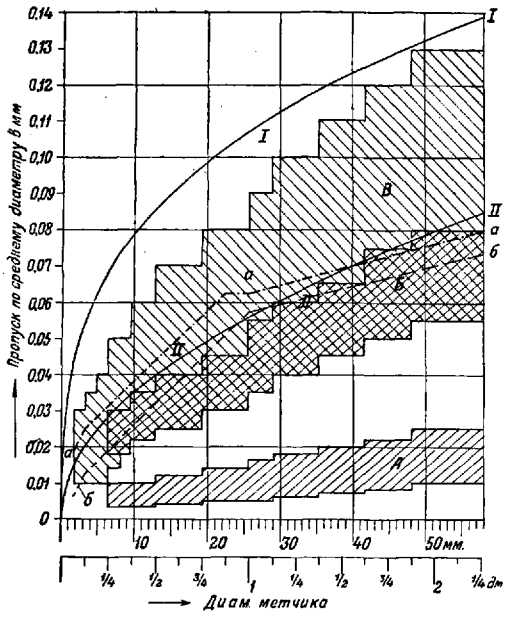


Фиг. 10.

ной и квадратной резьб. Большое количество подлежащего снятию металла и затрудняющая сход стружки малая величина угла α заставляет распределять работу нарезания между 3—5 и более отдельными М.

Наружный диаметр всех чистовых М. (за исключением котельных и анкерных) делается несколько больше требуемого диаметра окончательной нарезки. Делается это по двум соображениям: 1) полученная М. нарезка всегда несколько меньше диаметром, чем сам М., вследствие упругости нарезаемого материала, и 2) естественный износ М., особенно сильный в первое время работы его (вследствие присутствия на поверхности М.

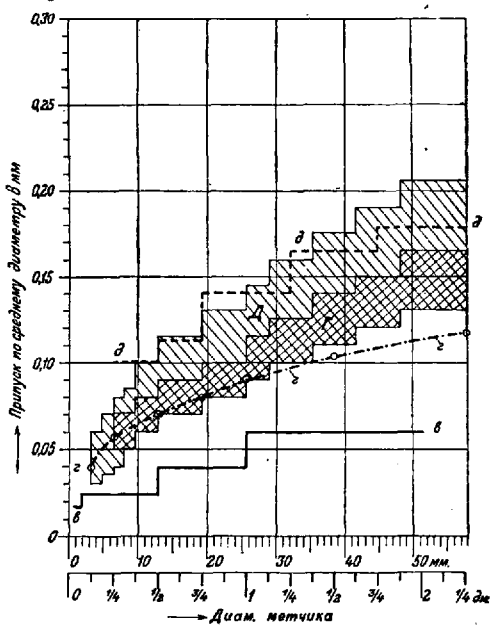
обычно очень тонкого, мягкого, обезуглероженного слоя стали), довел бы очень скоро диаметр нового и в остальном исправного М. до размеров ниже допустимых. Величина



Фиг. 11.

этого припуска изменяется в зависимости от рода М. и способа их изготовления. На фиг. 11 и 12 даны диаграммы, указывающие величину припусков различных родов М. в зависимости от наружного (номинального) диам. М. На фиг. 11 обозначают: *А*—допуски слесарных М. высшей степени точности, *Б*—то же, но для более свободной посадки, *В*—то же для метчиков обычной степени точности (нижний предел допуска для *Б* и *В* один); кривая *I* дает величину припусков для ручных гаечных М.; аналитически она выражается ф-лой $\Delta d_0 = 0{,}036\sqrt[3]{d_a}$ *мм*, если d_a в *мм*, и $\Delta d_0 = 0{,}1066\sqrt[3]{d_a}$ *мм*, если d_a в дм.; кривая *II* относится к припускам слесарных и газовых М.; аналитически она выражается ф-лой $\Delta d_0 = 0{,}0111\sqrt{d_a}$ *мм* для d_a в *мм* и $\Delta d_0 = 0{,}0558\sqrt{d_a}$ *мм* для d_a в дм.; на той же диаграмме кривая *а* изображает величину припусков для ручных слесарных метчиков, принятых руководящими производственными фирмами США; кривая *б* относится к припускам, принятым в США для лерочных калибровочных М. На фиг. 12 обозначают: *Г*—допуски для машинных гаечных метчиков высокой степени точности, *Д*—то же, но для нормальной степени точности; кривая *в* указывает величину припусков машинных гаечных М. до закалки, а *д*—то же, но после закалки и правки; кривая *г*, выражаемая ф-лой $\Delta d_0 = 0{,}0504\sqrt{h}$ *мм* или $\Delta d_0 = \frac{0{,}254}{\sqrt{z}}$, где z — число ниток на 1 дм., дает величину припусков готовых метчиков, принимаемую на з-дах Westinghouse El. & Mfg. Co. в США.

В виду своей упругости материал гайки, после того как резьба нарезана заборной частью, продолжает давить на поверхность зубцов гребенок цилиндрич. части М., поскольку их диаметр не меньше, чем у последнего зубца заборного конуса. Давление это пропорционально площади соприкосновения сторон нарезки на гребенках со стенками нарезанного отверстия, и следовательно вредный момент сопротивления, вызываемый трением гребенок, пропорционален также этой площади. Существуют два способа для уменьшения этого вредного сопротивления: задняя заточка зубцов гребенок и обратная конусность направляющего цилиндра М. Второй способ наиболее простой; он состоит в придании направляющему цилиндру небольшой конусности по направлению к хвостовой части М., так что средний диаметр нарезки около шейки на 0,005—0,008 *мм* меньше, чем в месте перехода заборного конуса в направляющий цилиндр; тангенс угла наклона образующей цилиндра к оси берется ок. 0,0005. Способ этот д. б. признан весьма несовершенным, так как при нем направляющая часть М., за исключением нескольких первых витков, не соприкасается со стенками нарезки по всей окружности, вследствие чего страдает правильность нарезаемой резьбы. Первый способ более совершенен, однако требует для своего исполнения снятия затылков гребенок на *затылочных станках* (см.) или на специальных шлифовальных машинах.



Фиг. 12.

Задняя заточка зубьев (фиг. 13), выполняется обычно по дугам эксцентрических окружностей; характерными размерами являются: расстояние *а* между центрами окружностей—основной и задней заточки, угол ε, составляемый линией центров (метчика *О* и окружности задней заточки O_1) с продолжением радиуса переднего ребра

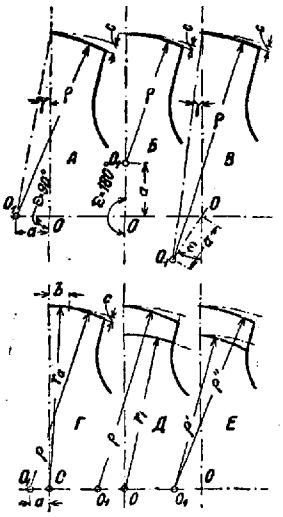
гребенки. Для работы М. важными величинами являются: угол задней заточки γ, т. е. угол между касательными к окружности диаметра М. и к поверхности затылка зубца в его острие, и просвет на затылке зубца c. С возрастанием γ до известных пределов, уменьшается сопротивление резанию, просвет же c у М. для нарезания глухих отверстий и вообще у всех М., вывинчиваемых из нарезанного отверстия обратно, д. б. возможно малым, т. к. при вывинчивании М. в этот зазор попадают стружки и, заклиниваясь в нем, портят готовую нарезку. На фиг. 13 приведены 4 различных способа образования задней заточки. Данные об элементах заточки при каждом из этих способов приведены в табл. 3.

Табл. 3.—Элементы задних заточек М.

Фиг. 13	γ	ε	$a:d_a$	$c:d_a$
Б	0°	180°	0,100	0,0156
		180°	0,150	0,0264
А	6°	90°	0,0526	0,0262
В		45°	0,082	0,0178
		30°	0,126	0,0136
		20°	0,210	0,0073
А	10°	90°	0,088	0,0116
В		45°	0,150	0,0312
		30°	0,250	0,0230
		20°	0,480	0,0115
А	15°	90°	0,131	0,061
В		45°	0,255	0,045
		30°	0.49	0,034
Г	0°	90°	0,0625	0,0192

Цилиндрич. направляющая часть М., как было указано, не должна принимать участия в резании, поэтому наиболее пригодными для нее методами задней заточки являются обозначенные на фиг. 13 буквами $Б$ и $Г$; из них наиболее совершенной является $Г$—т. н. «конэксцентрическая» задняя заточка, при которой передняя часть зубца на $b=0{,}08\,d$ остается нетронутой, а задняя часть снимается по окружности, элементы которой указаны в табл. 3. Оба упомянутых способа, наоборот, совершенно непригодны для заточки режущих зубцов заборного конуса. Единственными применимыми здесь методами являются $А$ и $В$; из них последнему, в особенности при угле $\varepsilon=20°$, д. б. отдано предпочтение, т. к. при одинаковом угле γ в этом случае получаются наименьшие значения для c. Конэксцентрич. задняя заточка дает возможность на одном станке за один зажим произвести заднюю заточку наиболее выгодным для М. в целом способом, а именно по $Г$ в цилиндрической его части и, немного подав резец вперед, по $А$ на заборном конусе. Иногда заднюю заточку ограничивают снятием лишь верхушек гребней (фиг. 13, $Д$), что является недопустимым в режущей и бесполезным в направляющей части М.; в первой задняя заточка должна быть выполнена по $Е$, т. е. заточен весь профиль в целом.

Следующим весьма важным элементом конструкции М. являются канавки. Назначение канавок двоякого рода: 1) образовать режущие передние грани зубцов и 2) служить для помещения и отвода образующейся стружки. Форма канавки определяется формой ее поперечного сечения и углом, образуемым ею с образующими основного цилиндра М. Обычно же М. выполняются с прямыми, т. е. параллельными оси М., канавками; этот тип канавок вполне пригоден для направляющей части, в режущей же части он нежелателен при большом наклоне ниток

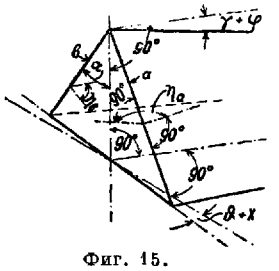


Фиг. 13.

(при грубой нарезке или многоходовых винтах) или при малом угле режущей грани (см. ниже), т. к. в этих случаях углы резания на обеих сторонах одного зубца получаются неравными—один больше, а другой меньше прямого. Обозначим: φ—угол груди зубца (фиг. 14), γ—угол задней заточки верхней грани зубца, χ—угол подъема винтовой нарезки, ϑ—угол спирали канавки с образующей цилиндра, причем оба последние угла считаем положительными для правых винтов (спиралей). Тогда η — истинный угол лезвия (фиг. 15), т. е. угол между плоскостями, касательными к по-



Фиг. 14.



Фиг. 15.

верхностям зубца на его режущей боковой кромке, получим (при выводе тангенсы заменены дугами в виду малости углов γ, φ, ϑ и χ) из ур-ий:

$$\eta_a = 90° - \frac{\sin 2\alpha}{2}(\gamma+\varphi) - (\vartheta+\chi)\cos^2\alpha \quad (11)$$

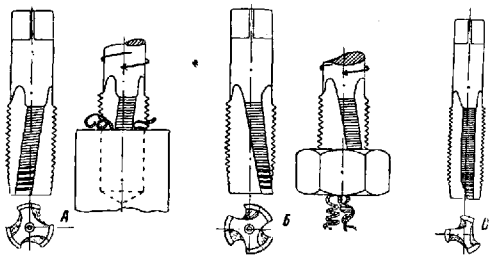
$$\eta_b = 90° - \frac{\sin 2\alpha}{2}(\gamma+\varphi) + (\vartheta+\chi)\cos^2\alpha, \quad (12)$$

где η_a и η_b—углы передней (a) и задней (b) режущих кромок (считая по направлению поступательного движения М. при резании).

Второй член ур-ий обращается в нуль при $\vartheta = -\chi$, т. е. когда канавкам придают уклон, равный по величине, но направления противоположного углу подъема нарезки; в этом случае оба угла η равны между собой, и при конечных значениях γ и φ меньше 90°, т. е. лезвие в этом случае режет, а не скоблит. При канавках, параллельных оси М., угол переднего лезвия всегда <90°, а угол заднего до тех пор < 90°, пока

$$\gamma + \varphi > \chi \frac{2\cos^2\alpha}{\sin 2\alpha} \cong 1{,}73\,\chi, \qquad (13)$$

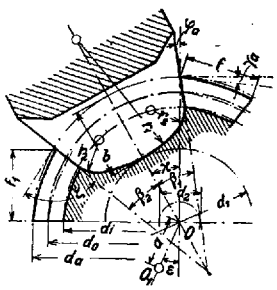
а так как χ для нарезки Витворта изменяется например от 3° 40′—2° 50′—2° 25′ для нарезок диаметрами $^1/_8$—$^1/_2$—$^3/_4$ дм., то ясно, что обыкновенно придаваемые φ и γ вели-



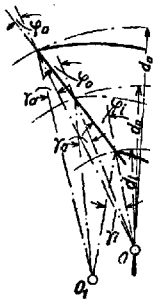
Фиг. 16.

чины обеспечивают правильное резание обеих кромок зубца. Однако в случаях, когда необходимо получить особо точную нарезку, желательно придание канавкам спирального направления с углом $\vartheta = -\chi$, так как при неравенстве углов обоих лезвий имеющее меньший угол врезается в металл несколько глубже другого, что приводит к некоторому (весьма незначительному) искажению нарезки. Направление канавок имеет еще важное значение для вывода стружек: спираль одинакового направления с нарезкой подает стружку по направлению, обратному поступательному движению М. (фиг. 16, *А*), что выгодно при нарезке глухих отверстий; спираль обратного направления (фиг. 16, *Б*) оказывает противоположное действие, почему и применяется исключительно при нарезке сквозных отверстий сравнительно небольшой длины. Следует однако отметить, что действительный вывод стружки получается лишь при довольно значительном угле спирали—порядка 15—25°; при этом зубцы на направляющем цилиндре получают с одной стороны настолько острый угол, что приобретают стремление врезаться в металл и портить т. о. готовую нарезку. Удачной конструкцией для сквозных отверстий, гл. обр. для нарезки гаек, является поэтому М., изображенный на фиг. 16, *В*: у него спиральной сделана только режущая грань на протяжении заборного конуса; одновременно достигается углубление канавки, особенно важное в этой части, что позволяет делать ее в остальной части М. менее глубокой, чем обычно, и следовательно усиливает М. в целом.

Форма поперечного сечения канавок имеет также немаловажное значение для правильной работы М. К форме канавок м. б. предъявлены следующие требования: 1) она должна обеспечивать достаточной величины угол груди φ (фиг. 17) и притом не только φ_a (фиг. 18) на наружном диаметре d_a нарезки, но и φ_0 и φ_i на среднем d_0 и внутреннем d_i диаметрах; 2) она должна предоставлять достаточную площадь F для прохода стружек (площадь F считаем до внутреннего диаметра—см. фиг. 19,*а*); 3) формы груди зубца должны обеспечивать свободный сход стружки; 4) ширина f гребенки д. б. достаточной для надежного направления М. ($nf \cong d_a$, где n — число гребенок); 5) для М., вывертываемых из отверстий по окончании нарезки, угол ζ задней стороны зубца не д. б. много больше 90°, для предупреждения заклинивания стружек; 6) толщина гребенок в наиболее тонком месте д. б. достаточной как с точки зрения прочности, так и принимая во внимание ведение при закалке; 7) диаметр d_1 части М., лежащей между днами канавок, д. б. возможно бо́льшим для наибольшей прочности всего М. в целом; точнее, желательно максимальное значение момента сопротивления кручению остающейся части стержня М. На фиг. 17 и 18, кроме упомянутых выше обозначений имеем: d_2—диам. окружности, касательной к продолжению прямолинейного профиля груди; γ_a, γ_0, γ_i—углы задней заточки на наружном, среднем или внутреннем диам., при условии заточки из центра O_1, отстоящего на a от центра М. O по направлению, составляющему угол ε с продолжением начального радиуса данного зубца; f_1—касательная вышина поля; χ—угол установки плоскости вращения фрезера к плоскости начального радиуса; β_1 и β_2, r_1 и r_2—углы и радиусы, характеризующие форму режущей кромки фрезера. В том случае, когда подача фрезера по глубине не м. б. просто измерена по радиусу или когда по соображениям наивыгоднейшего распределения стру-



Фиг. 17.



Фиг. 18.

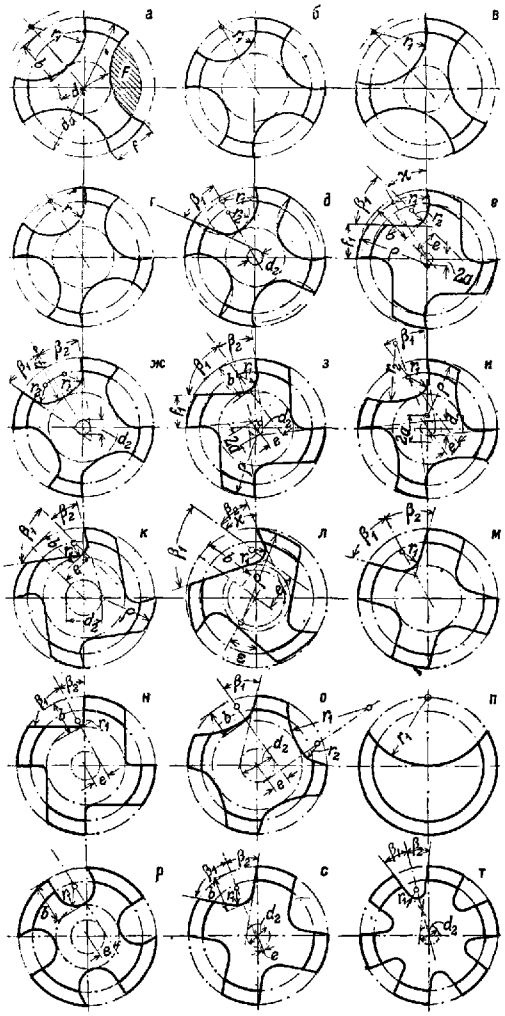
жки по кромкам фрезера его средняя плоскость не проходит через ось М., положение фрезера определяется кроме угла χ еще расстоянием e его средней плоскости от оси М.; глубина канавки b при этом измеряется по направлению, параллельному средней плоскости фрезера (фиг. 19, *е*, *ж*, *л*). На фиг. 19 и в табл. 4 приведены все элементы наиболее употребительных форм канавок, вычисленные в предположении $d_0 = 0{,}9d_a$ и $d_i = 0{,}8d_a$; все линейные размеры выражены в долях d_a, а свободная площадь сечения канавки F отнесена к полной площади сечения внутренней окружности нарезки $F_0 = \frac{\pi d_i^2}{4}$. М. типа *а* и *б* хороши для нарезки

Табл. 4.—Элементы М, для канавок различных типов (фиг. 17, 18, 19).

Тип (фиг. 19)	φ_a	φ_0	φ_i	f	f_1	r_1	r_2	b	F/F_0%	$\varkappa$	β_1	β_2	d_1	d_2	γ_a	γ_0	γ_i	a	ε	$\beta_1+\beta_2$	nf	e	ζ
а	11°23′	4°32′	−3°02′	0,330	—	0,375	—	0,3125	46,5	40°48′	—	—	0,375	—	—	—	—	—	—	—	0,99	—	78°37′
б	14°29′	8°49′	−7°54′	0,275	—	0,25	—	0,250	31,8	28°57′	—	—	0,50	—	—	—	—	—	—	—	1,10	—	75°31′
в	15°53′	7°14′	0°0′	0,32	—	0,375	—	0,327	50,6	41°37′	—	—	0,346	—	—	—	—	—	—	—	0,96	—	74°07′
г	21°06′	10°54′	0°0′	0,265	—	0,25	—	0,278	41,8	29°38′	—	—	0,444	—	—	—	—	—	—	—	1,06	—	68°54′
д	21°06′	10°54′	0°0′	0,268	—	0,25	0,181	0,278	41,5	29°38′	35°0′	—	0,444	0,10	—	—	—	—	—	—	1,07	—	95°45′
е	21°03′	10°54′	0°0′	0,259	0,25	0,25	0,125	0,280	25,5	45°0′	45°0′	—	0,53	0,50	4°35′	5°06′	5°45′	0,04	90°	—	1,04	0,185	120°0′
же	5°0′	5°33′	6°15′	0,259	—	0,40	0,123	0,250	35,7	30°0′	25°0′	25°0′	0,50	0,0872	—	—	—	—	—	—	1,04	—	85°0′
з	5°0′	5°33′	6°15′	0,259	0,25	0,125	—	0,245	22,8	35°0′	56°0′	30°0′	0,55	0,0872	3°20′	3°56′	4°28′	0,0436	45°	86°0′	1,04	0,125	121°0′
и	5°0′	5°33′	6°15′	0,24	—	0,50	0,15	0,263	34,0	35°0′	30°0′	—	0,50	0,0872	0°0′	0°33′	1°15′	0,10	180°	—	0,96	0,101	96°50′
к[*1]	15°0′	16°39′	−3°0′[*3]	0,233	—	0,125	—	0,254	19,5	45°0′	55°0′	30°0′	0,60	0,2588	0°0′	[*4]	—	0,13	180°	85°0′	0,932	0,208	127°0′
к[*2]	10°0′	11°06′	12°29′	0,238	—	0,125	—	0,260	24,0	40°0′	55°0′	30°0′	0,55	0,1736	0°0′	[*4]	—	0,09	180°	85°0′	0,952	0,157	122°30′
л	25°0′	27°58′	31°39′	0,317	—	0,125	—	0,370	38,7	55°0′	55°0′	30°0′	0,46	0,2113	4°52′	5°14′	5°46′	0,10	30°	85°0′	0,950	0,247	117°0′
м	−14°29′	16°08′	−18°12′	0,250	—	0,08	—	0,290	33,0	30°31′	45°0′	45°0′	0,42	0,250	—	—	—	—	—	90°0′	1,00	—	104°29′
н	0°0′	0°0′	0°0′	0,270	0,26	0,08	—	0,246	22,8	30°0′	60°0′	30°0′	0,577	—	—	—	—	—	—	90°0′	1,08	0,1007	121°20′
о	−14°30′	−16°10′	−18°14′	0,230	—	0,60	0,125	0,180	14,8	35°0′	49°30′	—	0,65	0,250	—	—	—	—	—	—	0,94	0,125	114°10′
п	30°0′	26°45′	23°35′	2,09	—	0,50	—	0,500	41,4	60°0′	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,09	—	60°0′
р	36°52′	41°48′	18°07′	0,45	—	0,15	—	0,300	33,2	13°40′	—	—	0,462	0,60	—	—	—	—	—	—	1,80	0,150	90°0′
с	− 9°12′	−10°14′	−11°32′	0,259	0,25	0,125	—	0,242	20,9	20°48′	56°0′	30°0′	0,518	0,16	—	—	—	—	—	86°0′	1,04	−0,015	116°0′

[*1] Первый вариант с диам. $d_1=0{,}60\,d_a$ и углом $\varphi_a=15°0'$. [*2] Второй вариант с диам. $d_1=0{,}55\,d_a$ и углом $\varphi_a=10°0'$. [*3] Вследствие слишком большого значения радиуса r_2, выбранного в данном типе канавки. [*4] Задняя заточка выполнена лишь по гребню зубца, т. е. по d_a.

резьбы в вязкой стали и мягком железе; их недостатком является отрицательный угол груди зубца в глубине нарезки; этот недостаток устранен в М. *в* и *г*, где угол $\varphi_1 = 0°$, что достигнуто незначительным углублением канавки (с 0,25 до 0,278 в четырехканавочном М.). М. этого типа пользуются значительным распространением, в особенности для глухих отверстий, и выказали себя

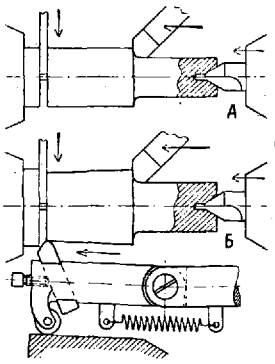


Фиг. 19.

с весьма хорошей стороны. На фиг. 19, *д* изображен М., отличающийся от предыдущих видоизмененной формой задней грани гребенки; сделано это в целях упрочнения зубцов не меняя основной формы канавки. Эта форма канавок превосходна для М. общего назначения, работающих в вязких, но не мажущихся (медь, алюминий) материалах. Тип *е* разработан для работы в тех же условиях, но для проходных, т. е. главным образом гаечных, М., к-рые пропускаются через нарезанное отверстие, а не вывертываются из него обратно; М. с канавками этого типа соединяют в себе прочность гребенок и малую склонность к короблению с хорошей формой груди зубца. Изображенная на фиг. 19, *ж* герм. форма М. имеет симметрич. сечение канавки и пригодна для М. общего назначения, преимущественно для глухих отверстий; недостатком этого типа является очень слабая ножка гребенок. Тип *з* имеет те же основные элементы, что и предыдущий, но предназначается для нарезания сквозных отверстий. Тип *и* является типом универсального М., с удобством применяемого для работы в твердых и вязких, а также и хрупких материалах (бронза, латунь, чугун); для работы в этих последних вообще нежелательны значительная величина угла φ и криволинейное очертание груди зубца. Формы канавок, изображенные на фиг. 19, *к* и *л*, часто применяются в америк. практике, гл. обр. из-за дешевизны и простоты изготовления фрезера, причем одним фрезером можно вдобавок нарезать М. различных диаметров. Форма эта является весьма мало удовлетворительной в виду малой свободной площади для прохода стружки и значительного сопротивления, оказываемого грудью зубца сходящей с зубца стружке вследствие слишком малого радиуса закругления дна канавки. М. этих типов непригодны для нарезания глухих отверстий. Форма М., изображенная на фиг. 19, *м* пригодна для нарезания материалов с хрупкой стружкой, чугуна, латуни; для нормального применения, в виду отрицательного угла φ, этот тип М. непригоден. Формы канавок *н* и *о* предложены америк. заводом Brown & Sharpe Mfg. Co.; из них форма зубцов с радиальным направлением груди (*н*) пригодна для нарезания резьбы в маловязких материалах, хотя недостатком этих канавок и является слишком большой угол ζ, что делает М. этого типа непригодным для нарезания несквозных отверстий. Для нарезания резьбы в меди и других очень мягких материалах, применяют М. типа *п* и *р*, отличающиеся большими размерами канавок и большими углами груди зубца; наиболее распространен тип *п*, особенно удобный в виду надежности направления. Для нарезки резьбы в латуни и аналогичных хрупких и не твердых материалах применяют М. типа *с*, канавки которого м. б. нарезаны фрезером, применяемым для фрезерования канавок типа *к* или *з*, меняется лишь установка фрезера относительно оси М. Совершенно особая форма канавок применяется для калибровочных лерочных М. (фиг. 19, *г*), к-рые не должны резать, а лишь шабрить и сглаживать нарезанную перед этим резьбу. М. этого типа нарезаются с бо́льшим числом канавок, чем нормальные равного диаметра; фрезер имеет для всех диаметров постоянный угол $\beta_1 + \beta_2 = 50°$ со слегка скругленной вершиной ($r_1 = 0{,}6 \div 1{,}5$ *мм*).

Производство М. Материалом для М. служит инструментальная сталь — углеродистая или легированная. Для обыкновенных рыночных М. берут углеродистую сталь с содержанием 1,10—1,25% C, 0,15—0,35% Mn, 0,10—0,4% Si, ≤ 0,015% P и ≤ 0,02% S. (Для особо крупных М. берут более вязкую сталь с 1,0—1,15% C.) Для обыкновенных М. высшего качества берут углеродистую

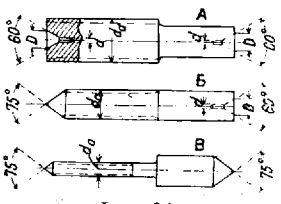
тигельную или электросталь, которая обладает преимуществом более однородной структуры и равномерной закалочной усадки; лучшие сорта английской и шведской инструментальной стали получают при закалке удлинение порядка 0,02—0,03%. Для нарезки же резьбы в хрупких материалах (чугун, латунь) хорошо себя зарекомендовала вольфрамовая сталь с 2—3% W и 1,10—1,25% C; она очень однородна, и закалочная усадка ее почти не отличается от нелегированной стали (~ 0,2%). Для нарезки резьбы в стали очень хороша ванадиевая сталь с 0,25—1,0% V; ее недостатком является непостоянство закалочной усадки, которая варьирует между ± 0,2%. Для машинных М. часто применяют быстрорежущие стали, из к-рых для этой цели особенно подходящи хромо-вольфрамовая с содержанием 18% W, 3,85% Cr, 0,8—1,0% V, 0,65—0,78% C. Т. к. однако высокая температурная устойчивость этой стали лишь редко м. б. полностью использована в М., то для последних достаточно применение быстрорежущей стали с меньшим содержанием вольфрама; так напр., употребительна сталь состава: 4,8—5% W, 0,7—1,0% Cr, 0,9—0,95% C, 0,25—0,30% Mn, 0,10—0,20% Si, ≤ 0,015% P, ≤ 0,015% S.



Фиг. 20.

Производство М. распадается на следующие операции: производство заготовки, нарезка резьбы, фрезеровка квадрата, фрезеровка канавок, образование заборного конуса и снятие затылков, маркировка, закалка, шлифовка, полировка и контроль. Получаемый обычно в прокатанном в круглые прутки и отожженном виде материал отрезается на круговой пиле или механич. ножовке; при этом необходимо проводить прорез насквозь, а не отламывать надрезанных пилою стержней. После отрезки заготовки подвергают отжигу при соответствующей составу стали $t°$. При изготовлении М. одиночным порядком заготовку берут большего **размера, чем внешний диам.** готового М., а именно: на 1,5—2 *мм* для $d_a < 6$ *мм*, 2,5—3 *мм* для $d_a = 6 \div 40$ *мм* и 4—6 *мм* для $d_a > 40$ *мм*; делается это для того, чтобы при обработке наверняка снять обезуглероженный внешний слой металла. При массовой фабрикации М. рыночного качества этим б. ч. пренебрегают и заготовку для М. до $1^1/_4$ дм., или 32 *мм*, вытачивают на автоматах (фиг. 20, А) прямо из холоднокатаного пруткового материала, диам. $d_a + (0{,}1 \div 0{,}15)$ *мм*; для М. большего размера ее изготовляют тем же способом, только вместо холоднокатаных прутков точного размера берут черный прутковый материал с припуском в 0,8—1,0 *мм*. Конич. М. вытачиваются также из прутков на автоматах, снабженных фасонным резцом или направляющей линейкой (фиг. 20, Б) для обточки конусной части М.

Перед нарезанием резьбы заготовки обычно отжигают; наилучшим способом является нагревание в чугунных ящиках, наполненных чугунными опилками и закрытых чугунными же крышками; $t°$ и продолжительность отжига зависят от сорта стали,— обычно ящики держат около 10 ч. при надлежащей $t°$ и оставляют остыть вместе с печью. Заготовки, выходящие с автомата, или совершенно не имеют центровых отверстий или имеют его только с одной стороны; следующей операцией является поэтому сверление центрового отверстия на центровочном станке, после предварительного шлифовывания выступа, остающегося на конце заготовки после отрезки. Величина центрового отверстия имеет весьма существенное значение для последующих операций: употребительные размеры центровых отверстий приведены в табл. 5 (см. фиг. 21).

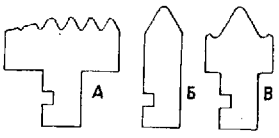


Фиг. 21.

Табл. 5.—Употребительные размеры центровых отверстий.

Нормальная резьба				Газовая резьба		
Диам. метчика		*d* *мм*	*D* *мм*	Номин. диам М., дм.	*d* *мм*	*D* *мм*
дм.	*мм*					
$^1/_4$—$^{11}/_{32}$	6—9	1,6	2,5	$^1/_8$	1,6	3,0
$^{3}/_{8}$—$^{15}/_{32}$	9,1—12	1,6	3,0	$^1/_4$	2,0	3,3
$^1/_2$	12,1—13,5	2,0	3,5	$^3/_8$	2,0	4,0
$^9/_{16}$	13,6—15	2,0	3,8	$^1/_2$	2,0	4,3
$^5/_8$—$^{11}/_{16}$	15,1—18	2,0	4,0	$^5/_8$	2,0	4,8
$^3/_4$—$^{13}/_{16}$	18,1—21	2,0	4,3	$^3/_4$—$^7/_8$	2,0	5,0
$^7/_8$—$^{15}/_{16}$	21,1—24	2,0	4,8	1	2,5	5,3
1—$1^1/_8$	24,1—28	2,0	5,0	$1^1/_8$	2,5	5,6
$1^1/_4$—$1^3/_8$	28,1—36	2,5	5,3	$1^1/_4$	2,5	6,1
$1^1/_2$	36,1—39	2,5	5,6	$1^3/_8$	2,5	6,6
$1^5/_8$	39,1—43	2,5	6,0	$1^1/_2$	2,5	7,1
$1^3/_4$	43,1—46	2,5	6,6	$1^5/_8$—$2^1/_8$	3,2	7,4
$1^7/_{16}$	46,1—50	2,5	7,0	$2^1/_4$—$2^5/_8$	4,0	9,0
2—$2^1/_2$	50,1—65	3,2	7,5	$2^3/_4$—3	4,0	9,6
$2^3/_4$—3	65,1—75	4,0	9,0	$3^1/_4$—$3^1/_2$	4,0	10,4
$3^1/_4$—$3^1/_2$	75,1—90	4,0	9,7	$3^3/_4$—4	4,8	10,8
$3^3/_4$—4	90,1—103	4,0	10,5			

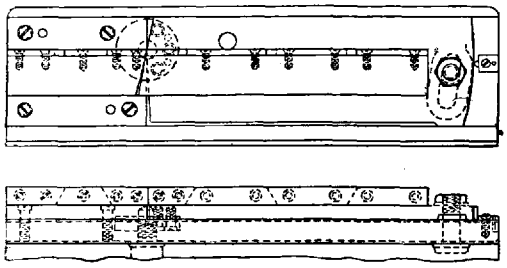
Форма заготовки для М., диам. больше $^3/_8$ дм. или 10 *мм*, показана на фиг. 21, А; заготовки, диам. меньше $^3/_8$ дм., или 10 *мм* и до $^1/_8$ дм., или 3,2 *мм*, снабжают центровочным отверстием только со стороны шейки, другую же сторону затачивают на конус (фиг. 21, Б); М., диам. меньше $^1/_8$ дм., или 3,2 *мм* (фиг. 21, В), снабжают с обоих концов конусами (центрами).



Фиг. 22.

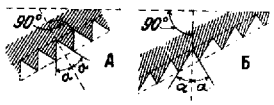
Весьма ответственной является следующая затем операция нарезания резьбы М. Она производится двумя различными способами: на токарных станках или винторезными головками. Первый способ дает более точные М., но значительно дороже второго. Относительно способов нарезания резьбы шага, слегка отличающегося от нормального, было уже сказано выше. При нарезании резьбы М. на токарных станках с выгодой применя-

ют тангенциальные *резцы* (см.), причем для предварительной обточки пригодны многозубцовые резцы профиля, изображенного на фиг. 22, А; для окончательной чистовой обточки однако следует пользоваться лишь однозубыми резцами в виду их большей точности: по профилю фиг. 22, Б—для нарезок, не имеющих закругления в углублении гаечной нитки, и по фиг. 22, В—для



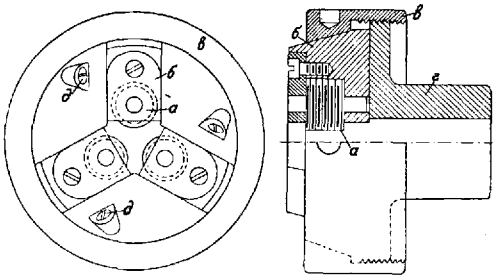
Фиг. 23.

нарезок с закруглением. Рекомендуется для последней стружки применять резцы из стеллита в виду его малой изнашиваемости. В качестве охлаждающей жидкости для черновых пассов можно брать прозрачную масляную эмульсию (так наз. «растворимые масла»), а для чистовой обработки обязательна подача сильной струи хорошего животного или растительного масла (олео-маргарин, спермацетовое или сурепное масло). Нарезку резьбы винторезными головками производят на горизонтальных (для малых метчиков—до ~ 10 *мм*) винторезных станках или на специальных вертикальных станках типа сверлильного с уравновешенным пружиной или грузами шпинделем и небольшим круглым столом, к к-рому прикрепляется неподвижная винторезная головка. Последняя отличается от головок, применяемых в болторезном деле, большей простотой и жесткостью конструкции: она не имеет устройства для открывания, и резцы (тангенциальные, со шлифованной фасонной поверхностью) типа Ландис устанавливаются каждый порознь при посредстве винтов с мелкой нарезкой. После прохода через головку нарезанный М. падает вниз, что возможно конечно лишь у М., начиная с $d_a > (8 \div 10)$ *мм*, т. к. у более тонких М. шейка толще внутреннего диам. нарезки. Поэтому малые М. нарезают на горизонтальных винторезных станочках с нормальными раскрывающимися головками большой точности. Резцы отличаются от нормальных лишь длиной конической режущей части, к-рая больше нормальной. В зависимости от размера М. пропускают через головки последовательно уменьшающегося диам. 2 или 3 раза, за исключением анкерных М., к-рые пропускают лишь 1 раз при уменьшенной скорости. Во время работы необходимо обильное подведение охлаждающей жидкости упомянутого выше типа. Этот способ отличается значительной производительностью; так напр., М. $^7/_8$ дм. с длиной нарезанной части в 120 *мм* нарезается



Фиг. 24.

начисто в 3 прохода в течение трех минут; анкерный М. с длиной нарезной части ок. 600 *мм*—в 5 мин. Для нарезания конич. М. на токарных станках пользуются *копировальными станками* (см.); на этих же станках нарезают цилиндрич. М. с конич. передней частью нарезки. В этом последнем случае шаблон делают состоящим из двух прямолинейных линеек, поставленных под требуемым углом; хорошая конструкция переставного шаблона изображена на фиг. 23; устройство его понятно из чертежа; обязательным условием является совпадение оси поворотной цапфы с ребром угла, образуемого линейками. Напомним, что в витвортовской конич. нарезке, резец устанавливается перпендикулярно образующей конуса (фиг. 24, А), в прочих нарезках — перпендикулярно оси М. (Б). В последнее время для нарезания резьбы на М. начали с успехом применять винторезные *фрезеровальные станки* (см.), в к-рых для менее точных работ применяют многониточные фрезера, а для более точных—дисковые с одной ниткой. Для производства особо точных М. однако фрезерование неприменимо в виду неточности, свойственной самому способу (фрезер является режущим телом вращения, а не

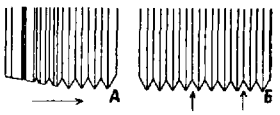


Фиг. 25.

режущей плоскостью, как резец, а поэтому при наклоне к оси М. неравном 90° режет не в одной лишь плоскости, проходящей через ось М. и центр фрезера, а и в соседних участках готовой уже нарезки, меняя т. о. ее профиль). Фрезерование нарезки применяется с успехом для конич. М., к-рые в этом случае снабжаются канавками до нарезания резьбы. Фрезер применяют цилиндрический многониточный, длиной равный длине нарезанной части М.; операция нарезания требует лишь два полных оборота М.—один для черновой и один для чистовой фрезеровки; одновременно снимаются затылки зубцов путем перемещения оси фрезера или самого М. Для мелких М., у к-рых невозможна отделка нарезки шлифованием, и для крупных М., у к-рых зубцы не снабжены задней заточкой, в США применяют в последнее время уплотнение поверхности наклепом при помощи прокатывания нарезки особыми уплотнителями (фиг. 25); рабочей частью являются ролики из особо твердой стали *а*, *а*, снабженные рядом канавок, профиль к-рых в точности соответствует профилю нарезки; оси роликов наклонены под углом подъема нарезки М. к оси прибора, а расположение канавок на отдельных роликах сдвинуто на $^1/_3$ хода винта (при трех роликах); кроме то-

го ролики имеют, для возможности самоустанавливания, небольшую игру вдоль по оси. Ролики укреплены в кулачках *б*, помещающихся в вырезах тела головки *г* и устанавливаемых при помощи конического нарезанного кольца *в*; раз установленные кулачки удерживаются стопорными винтами *д*. Нарезанный с небольшим припуском М. пропускают 1 или 2 раза через вращающуюся головку, причем поверхностный слой его уплотняется и одновременно полируется и приобретает правильную форму. В америк. технич. литературе имеются указания, что такие уплотненные М. нарезают до пяти раз большее число отверстий, прежде чем притти в негодность, по сравнению с обычными. В последнее время начинает входить в употребление нарезание резьбы на снабженных уже канавками и закаленных заготовках при помощи шлифования. Способ этот в особенности ценен: 1) для нарезания резьбы М. меньше $^3/_4$ дм., или 18 *мм*, диам., у к-рых нарезание на токарном станке продолжается дольше, чем шлифование из целого; 2) для М. из быстрорежущей стали, у к-рых в виду высокой $t°$ закалки перегжигаются гребни нарезок, 3) у очень длинных (анкерных) М., закалочная усадка которых может оказаться настолько значительной, что нарезка не сможет быть выправлена никакой последующей обработкой. Рабочим инструментом специальных резьбовых шлифовальных станков служит профилированный многоканавочный наждачный диск, имеющий, смотря по способу работы, профиль по фиг. 26, А (при продольной подаче для длинных М. и крупной нарезки) или по фиг. 26, Б (при поперечной подаче). При втором способе работы нарезка вышлифовывается из целого за один поворот М.; продолжительность всей операции составляет 1,3—2 мин., для М. диам. $^1/_4$—$^3/_4$ дм. Способ этот применим для всяких треугольных нарезок (с округленными или срезанными по прямой гребнями и углублениями) с шагом, лежащим в пределах 28—8 ниток на 1 дм. для витвортовской резьбы и 1,25—3 *мм* для метрич. нарезки. Главная трудность заключается понятно в профилировании наждачного диска. Профилирование производится по методу выдавливания или выкрашивания зерен абразионного материала при посредстве вращающегося профилирующего ролика, нажимаемого на шлифовальный круг. Профилирование нового круга продолжается 5—10 мин., правка утерявшего правильный профиль (производящаяся тем же способом)—3—4 мин. Число М., к-рые можно снабдить нарезкой прежде чем колесо потребует правки, колеблется, в зависимости от шага и качества круга, в пределах 10—80 шт. Профилирующие ролики доставляются всегда парами: после того как один из них станет неточным (что случается после шлифования 500—1 500 шт. метчиков), правят диск запасным роликом и тем же диском шлифуют испортившийся ролик.

После нарезания резьбы у М. фрезеруют квадраты на концах шеек. Эта операция совершается при помощи набора дисковых фрезеров, обрабатывающих одновременно обе противолежащие плоскости у целого ряда М.; последние зажимают в многократное поворотное *приспособление* (см.), позволяющее, не вынимая их по окончании одного прохода, повернуть все М. на 90° и отфрезеровать другие две стороны квадрата. При производстве машинных М. однако предпочитают фрезеровать только одну сторону квадрата за один проход, ставя М. на центры и поворачивая его каждый раз на 90°, т. к. при первом способе трудно достигнуть центрального положения квадрата относительно оси М. Иногда операция фрезеровки квадрата предшествует нарезанию резьбы.



Фиг. 26.

После обработки квадрата М. поступают на фрезеровальный станок для выборки канавок. При одиночном производстве пользуются обыкновенным или универсальным *фрезеровальным станком* (см.) с делительной головкой (см. *Делительные аппараты*); при массовом же производстве выгоднее пользоваться автоматическими фрезеровальными станками с многократными автоматическими же делительными головками. Форма фрезера д. б. точной, а установка его относительно оси—особо тщательной, в виду влияния, оказываемого формой канавки на качества М. Для возможности точной установки фрезера по высоте в табл. 6 приведены значения *b* глубины канавки, считая по направлению плоскости вращения фрезера от высшей точки наружного диаметра М. и до низшей точки профиля фрезера. Для возможности правильной боковой установки фрезеров, в последних всегда д. б. известно отстояние от одной из боковых плоскостей фрезера центральной плоскости, под к-рой мы всегда подразумеваем плоскость, параллельную плоскости вращения и проходящую через центр окружности нижнего закругления, т. е. центр кривизны наиболее удаленной от оси фрезера точки его профиля. Формы профилей сечения фрезеров, с указанием всех элементов в зависимости от диаметра нарезки М. и размеров *b* и *e*, необходимых для его правильной ориентации, приведены в табл. 6.

Получающийся после фрезерования канавок на гребнях М. грат удаляют, пропуская М. через калибровочную лерку с тупыми углами у вершин канавок (чтобы не портили готовой нарезки).

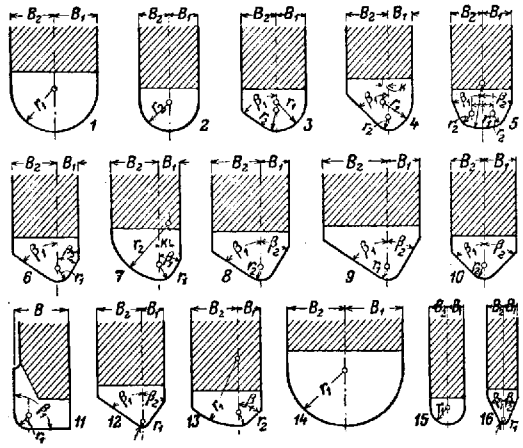
Следующей операцией является снятие затылков зубцов заборного конуса, что обычно производится путем фрезерования конусным фрезером соотвественной конусности, причем необходимый угол задней заточки достигается либо вращением М. при фрезеровании одного поля, вокруг оси, не совпадающей с осью самого М., либо путем приближения бабки с зажатым в центрах М. к фрезеру при помощи особого кулачкового механизма, аналогично применяемому в *затылочных станках* (см.). На этом механич. обработка обыкновенных рыночных М. заканчивается. М., снабженные задней заточкой на всей длине или лишь на заборном конусе, поступают после фрезеровки заборного конуса на затылочный станок, где и

Табл. 6.—Форма сечения фрезеров и установочные данные (фиг. 27 и 28).

Форма канавок (см. фиг. 19)	Тип фрезера	β_1	β_2	r_1	r_2	B_1	B_2	B_1+B_2	b	e	k
а	1	—	—	0,375	—	0,375	0,375	0,75	0,3125	—	—
б	2	—	—	0,250	—	0,250	0,250	0,50	0,250	—	—
в	1	—	—	0,375	—	0,375	0,375	0,75	0,327	—	—
г	2	—	—	0,250	—	0,250	0,250	0,50	0,278	—	—
д	3	35°0′	—	0,250	0,131	0,250	0,300	0,55	0,278	—	—
е	4	45°0′	—	0,125	0,125	0,190	0,360	0,55	0,280	0,185	0,06
жс	5	25°0′	25°0′	0,400	0,123	0,275	0,275	0,55	0,250	—	0,0917
з	8	56°0′	30°0′	0,125	—	0,180	0,380	0,56	0,245	0,125	—
и	7	30°0′	—	0,150	0,500	0,180	0,400	0,58	0,263	0,101	0,093
*к**1	8	55°0′	30°0′	0,125	—	0,250	0,400	0,65	0,254	0,208	—
*к**2	8	55°0′	30°0′	0,125	—	0,250	0,400	0,65	0,260	0,157	—
л	9	55°0′	30°0′	0,125	—	0,300	0,550	0,85	0,370	0,247	—
м	10	45°0′	45°0′	0,125	—	0,275	0,275	0,55	0,290	—	—
	11	90°0′	—	0,125	—	0,240	0,240	0,48	0,375	0,365	0,115
н	12	30°0′	60°0′	0,080	—	0,200	0,380	0,58	0,246	0,101	—
о	13	49°0′	—	0,600	0,125	0,200	0,400	0,600	0,180	0,125	—
п	14	—	—	0,500	—	0,500	0,500	1,000	0,500	—	—
р	15	—	—	0,150	—	0,150	0,150	0,300	0,300	0,150	—
с	6	56°0′	30°0′	0,125	—	0,180	0,380	0,56	0,242	0,0152	—
*т**3	16	25°0′	25°0′	0,8—1,0 *мм*	—	—	—	8—15 *мм*	8,2—12 *мм*	—	—

*1 Первый вариант (см. табл. 3). *2 Второй вариант (см. табл. 3). *3 Глубина фрезерования берется 8.2—12 *мм*, число канавок выбирается с таким расчетом, чтобы ширина гребенок получалась равной ~4,5÷6 *мм*.

происходит снятие затылков зубцов. В том случае, если М. после калки не шлифуются, эта операция является отделочной, и поэтому для нее применяют наиболее точные стан-

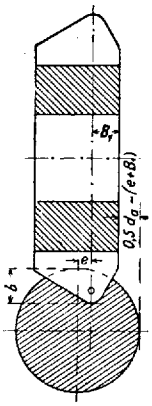


Фиг. 27.

ки и аккуратно изготовленные инструменты. Весьма полезно бывает снимать на затылочном станке последнюю чистовую стружку не только с части М., снабженной задней заточкой, но и с цилиндрич. части его, выключив конечно затылочное движение резца; таким образом вся нарезка М. будет пройдена одним резцом за один проход, так что небольшие неточности в установке резца на затылочном станке не отзовутся на форме нарезки.

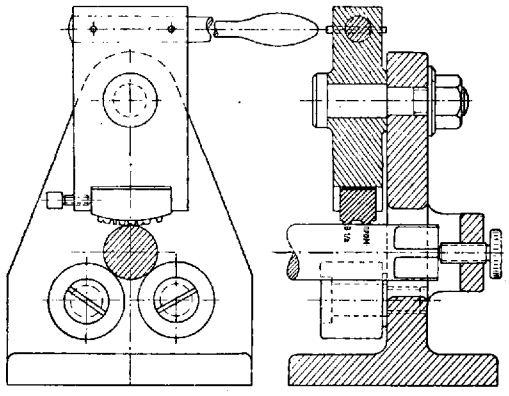
По окончании всей механич. обработки, предшествующей закалке, М. клеймятся в специальных приспособлениях, аналогичных изображенному на фиг. 29, действие к-рого ясно из чертежа; установка по диам. шейки производится сменой роликов и подкладкой тонких листов латуни под штамп.

При массовом производстве применяют маркировальную машину, изображенную на фиг. 30; штамп *а* с вырезанной надписью зажат в ползуне *б*, перемещаемом при помощи шестерни и зубчатой рейки рукояткой *в*; длина хода устанавливается винтом *г*. Подставка *д* (стальная плоская плита) прикрепляется к подъемному столу *е*; подъем производится педалью *жс*, высота его устанавливается винтовым шпинделем *з* и ограничивается упоркой *к*. Маркируемый М. *л* кладется на подставку *д*, прижимается к штампу и последний рукояткой *в* прокатывается по М., отпечатывая на нем требуемую маркировку.



Фиг. 28.

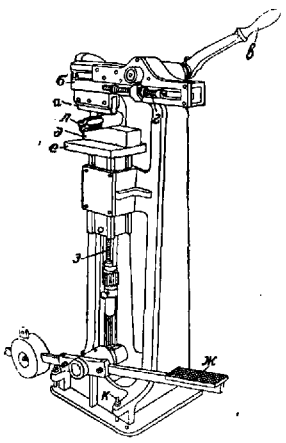
Закалка М., в виду сложности формы и затруднительности последующей правки



Фиг. 29.

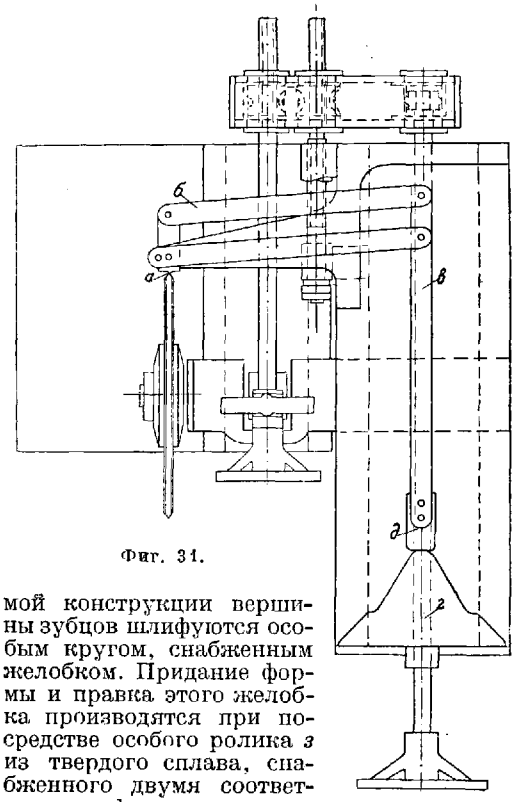
их, должна производиться с особой тщательностью. Из печей для нагревания М. пригод-

ны угольные и коксовые муфельные печи, газовые и нефтяные безмуфельные (поверхностное окисление устраняется установкой количества горючего в смеси, обеспечивающего восстановительное пламя) электрич. печи (удобны, но дороги в эксплоатации), и весьма удобны и экономичны печи со свинцовой или соляной ванной; первая применима лишь для закалки углеродистых сталей, вторая—также и для быстрорежущих. Ванны из хлористого бария и смеси его с KCl и NaCl мало пригодны для нагревания метчика в виду образования тонкого слоя обезуглероженного металла; при последующей шлифовке однако это особого значения не имеет. При нагревании в свинцовой ванне необходимо предварительное покрытие М. слоем, защищающим его от прилипания свинца, так как капли последнего при закалке затрудняют отвод тепла, вследствие чего соответственные участки М. остаются слабо закаленными и увеличивается опасность перекоса всего М. Темп-ра нагрева должна соответствовать сорту стали и проверяться пирометром (см. *Термическая обработка* стали). Закалку М. из углеродистой и низколегированной стали производят в воде, имеющей $t°$ 18—20°, покрытой слоем масла. Опускают М. в охлаждающую жидкость вертикально нарезанным концом вниз, причем погружают лишь последний и двигают М. горизонтальными кругообразными движениями; после того как метчик потемнеет, его кладут в масляную ванну, где он и охлаждается окончательно. Вслед за закалкой следует отпуск М., к-рый производится в песчаной или масляной бане. Особо длинные М. после закалки отпускают нагревая их в масле до температуры 240° и затем выпрямляют под ручным прессом. Квадрат отжигают, погружая его в ванну из расплавленного свинца.



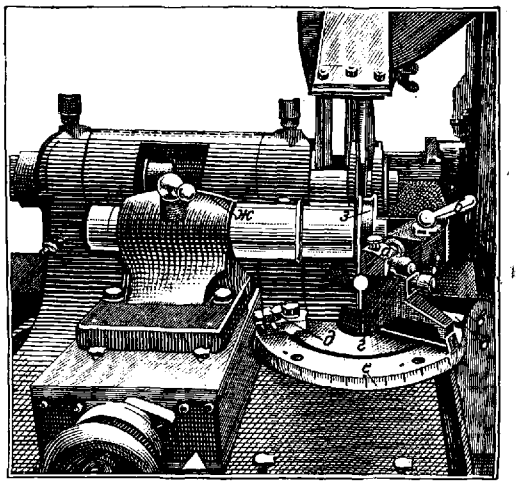
Фиг. 30.

После закалки точные М. подвергают шлифовке по профилю нарезки. Операция эта совершается на специальных *шлифовальных станках* (см.), причем главным отличием их является аппарат для выверки и поддержания правильного профиля шлифовального круга. Обточка круга совершается алмазом; механизм, который перемещает этот алмаз, строится: 1) по принципу пантографа (фиг. 31), причем державка с алмазом *а* прикрепляется к короткому плечу пантографа *б*, длинное плечо к-рого *в* скользит по шаблону *г*, изображающему в соответственно увеличенном (в 20—25 раз) масштабе профиль нарезки; насалка *д* представляет увеличенную в том же масштабе форму алмазного острия; 2) обычного типа со сложным движением алмаза по двум прямым и одной круговой линии (фиг. 32). Державка с алмазом укреплена в ползуне *а*, который может перемещаться в стойке *г* при посредстве рейки и шестеренки, приводимой в движение рукояткой *б*; этот алмаз служит для обточки боковых поверхностей круга при соответственных положениях стойки *г*; угол поворота последней ограничен упорами *дд*, устанавливаемыми на разделенном на градусы круге *е* (точность установки ± 10′), закругление обтачивается при повороте стойки другим алмазом, укрепленным в державке *в*. Практика показала, что закругления у краев наждачного круга для шлифовки верхних гребней нарезки, как это показано на шаблоне фиг. 31, плохо держатся и скоро выкрашиваются, поэтому в шлифовальном станке описываемой конструкции вершины зубцов шлифуются особым кругом, снабженным желобком. Придание формы и правка этого желобка производятся при посредстве особого ролика *з* из твердого сплава, снабженного двумя соответственно сформированными кольцевыми выступами и укрепленного на прочном шпинделе в особой бабке *жж*. Обточка производится простым нажатием этого ролика на круг; после того как один выступ ролика потеряет правильную форму, ролик передвигают, обтачивают канавку другим правильным выступом, после чего подводят первый выступ и, приведя ролик в медленное вращение, обтачивают его до получения правильной формы. Обточку наждачного колеса необходимо производить через каждые 20 — 30 вышлифованных метчиков средней величины. Для шлифования метчиков с зубцами, снабженными задней заточкой, бабка, несущая метчик, может несколько придви-



Фиг. 31.

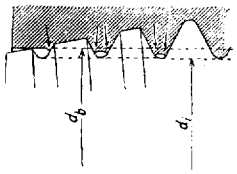
гаться к диску и отходить от него при проходе диска мимо канавки; для ускорения работы угловая скорость вращения метчика



Фиг. 32.

в этот момент увеличивается в 15 раз. Подача М., круговая и продольная, совершаются вполне автоматически, так что время обработки М. диам. 16 *мм* составляет 3 мин. Шлифованные М. могут быть изготовлены с допусками ± 0,01 *мм* на среднем диам., ± 0,02 *мм* на наружном и внутреннем диам., ± 10′ угла профиля нарезки и ± 0,005 *мм* на неточность шага на протяжении 25 *мм* длины нарезки М.

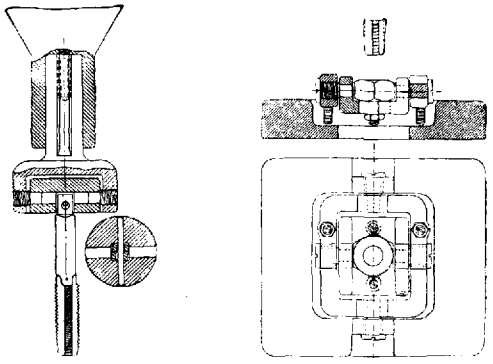
По окончании обработки рабочей части М. подвергаются ряду операций для удаления окалины и улучшения их внешнего вида. Для этого: 1) шлифуют шейку на обыкновенных кругло-шлифовальных станках с допусками $+0, -0{,}12$ *мм* для $d_a < 25$ *мм*; $+0, -0{,}18$ *мм* для $d_a = 25 \div 50$ *мм* и $+0, -0{,}23$ *мм* для $d_a > 50$ *мм*; 2) полируют канавки при помощи резинового круга соответствующего профиля, смазываемого для начальной полировки маслом с мелким наждаком, а для тонкой — трепелом или крокусом; 3) полируют торцовые поверхности М. на плоско-шлифовальных ручных станках с дисками или лентами из наждачного полотна; 4) очищают вращающимися медными щетками всю грязь, приставшую к М., и наконец смазывают его маслом, погружая М., в него, после чего последнее оставляют стечь или отцентрифуговывают избыток его. У М. с нешлифованной нарезкой иногда полируют последнюю, помещая М. между центрами, медленно вращая его и протирая в то же время нарезку вручную смазанным тонким наждачным порошком полировальником соответственного профиля из мягкого железа.



Фиг. 33.

Работа М. Для работы М. необходимо наличие предварительно просверленного отверстия; диам. последнего сильно влияет на потребляемую М. для нарезания, мощность и качество полученной резьбы. Для получения правильной, полной нарезки без рваных гребней витков и без излишнего расхода энергии диам. отверстия д. б. несколько меньше, чем внутренний диам. нарезки в виду того, что М., врезаясь в пластичный материал, вытесняет часть металла по бокам нарезки в виде грата (фиг. 33, направление течения металла изображено стрелками). Насколько сильно перенапрягается материал М. при недостаточном диам. отверстия под нарезку, видно из следующего примера: крутящий момент, разрушающий обыкновенный $^1/_2$-дюймовый М., равен ~ 8 *кгм*; рабочий момент при нарезании резьбы в отверстии, имевшем внутренний диаметр $d_a - 1{,}5t$, $d_a - 1{,}8t$ и $d_a - 2{,}0t$, был соответственно равен 2,3 *кгм*, 4,2 *кгм* и 6,6 *кгм*. С другой стороны значительная точность внутреннего диаметра нарезки излишня, т. к. не приносит существенных выгод в винтах скрепления. Америк. опыты показали, что 0.5 нормальной глубины нарезки в гайке высотой d_a вполне достаточно и что в этих условиях болт никогда не срывает нарезки, а рвется сам; нарезка с 0,75 глубины лишь на 20% прочнее предыдущей и обладает практически одинаковой прочностью с нарезкой, имеющей полную глубину. Диаметры отверстий d_b под нарезку наружного диаметра d_a приведены в табл. 7.

Указанные в табл. 7 диам. отверстий под нарезку рассчитаны на средневязкий материал (литая мягкая сталь, бронза); для очень вязких, как медь, очень мягкое сварочное железо, диам. м. б. увеличены на $0{,}1 \div 0{,}15\,t$, для хрупких (чугун, латунь) немного уменьшены. Также можно немного уменьшить диаметр при ручной нарезке. Однако, как было уже сказано, действительной выгоды уменьшение диам. не дает. При нарезании в машине необходимо следить за тем, чтобы М. не бил, чтобы ось М. и нарезаемого отверстия лежали на одной прямой и чтобы М. или нарезаемый предмет имели нек-рую свободу для возможности самоустановки. Подкладка для нарезаемых гаек и державка для М., выполняющие это требование, изображены на фиг. 34; в состав обеих входит шарнир Гука, дающий им желаемую степень свободы.

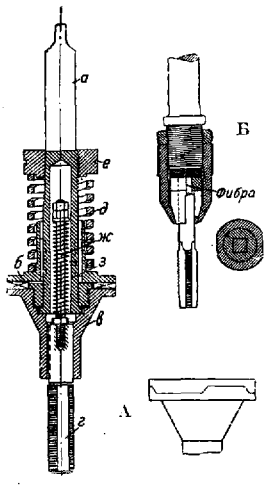


Фиг. 34.

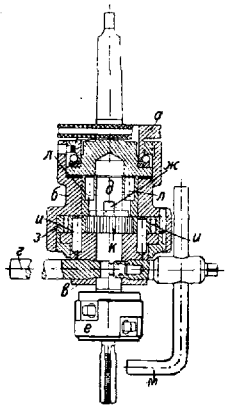
Табл. 7.—Диаметры отверстий под нарезку.

Витвортовская нарезка				Метрич. нарезка				Америк. стандартная нарезка Селлерса				Газовая нарезка Витворта		Газовая нарезка Бриггса	
d_a дм.	d_b мм	d_a дм.	d_b мм	d_a мм	d_b мм	d_a мм	d_b мм	d_a дм.	d_b мм	d_a дм.	d_b мм	d_a дм.	d_b мм	d_a дм.	d_b мм
1/16	1,15	11/16	15,0	1	0,8	11	9,4	1/4	5,2	1 1/8	25,0	1/8	7,9	1/8	8,3
3/32	1,85	3/4	16,4	1,2	1,0	12	10,0	5/16	6,35	1 3/16	25,6	1/4	10,7	1/4	11,5
1/8	2,6	13/16	18,0	1,4	1,15	14	11,7	3/8	7,9	1 1/4	28,2	3/8	14,3	3/8	15,1
5/32	3,2	7/8	19,3	1,7	1,35	16	13,7	7/16	9,1	1 5/16	29,8	1/2	17,5	1/2	18,3
3/16	3,7	1	22,0	2	1,6	18	15,1	1/2	10,7	1 3/8	31,0	5/8	19,8	5/8	23,8
7/32	4,5	1 1/8	24,7	2,3	1,9	20	17,1	9/16	11,9	1 1/2	34,1	3/4	23,0	1	30,2
1/4	5,0	1 1/4	28,0	2,6	2,15	22	19,1	5/8	13,5	1 5/8	36,5	7/8	27,0	1 1/4	37,3
5/16	6,5	1 3/8	30,5	3	2,5	24	20,5	11/16	15,1	1 3/4	39,3	1	28,6	1 1/2	43,7
3/8	7,9	1 1/2	33,5	3,5	2,9	27	23,5	3/4	16,3	1 7/8	42,5	1 1/4	37,3	2	55,6
7/16	9,2	1 5/8	36,0	4	3,3	30	26,0	13/16	17,9	2	45,2	1 1/2	45,2	2 1/2	68,3
1/2	10,5	1 3/4	39,0	4,5	3,7	33	29,0	7/8	19,4	2 1/4	51,6	1 3/4	49,2	3	84,1
9/16	12,0	1 7/8	41,5	5	4,2	36	31,5	15/16	21,0	2 1/2	57,2	2	54,8	3 1/2	96,8
5/8	13,5	2	45,0	5,5	4,5	39	34,5	1	22,2	2 3/4	63,5	2 1/4	61,1	4	106,4
				6	5,0	42	37,0	1 1/16	23,8			2 1/2	70,6	4 1/2	119,1
				7	6,0	45	40,0					2 3/4	77,0	5	133,3
				8	6,7	48	42,0					3	83,3	6	160,3
				9	7,7	52	46,0					3 1/4	88,9		
				10	8,4							3 1/2	95,2		

Для того чтобы избежать частых поломок М. при машинной нарезке, вследствие их перенапряжения, и дать возможность М. совершать требуемую осевую подачу независимо от правильности подачи шпинделя сверлильной машины, применяют различные фрикционные муфты; наиболее распространенный тип изображен на фиг. 35, А. Приспособление состоит из вставляемого в гнездо шпинделя сверлильного станка, конуса *а*, соединенного на скользящей шпонке с верхней половиной кулачковой муфты *б*, и детали *в*, несущей метчик *г* и соединенной с нижней половиной той же муфты *б*; верхняя половина муфты прижимается к нижней пружиной *д*, натяжение к-рой регулируется гайкой *е*. М. удерживается в своем гнезде от вращения скользящей шпонкой, а от выпадения—ввернутой в его головку тягой *жс*, поддерживаемой пружиной *з*. Когда метчик забрал нарезку, он продолжает при вращении двигаться поступательно, независимо от подачи шпинделя, скользя в гнезде детали *в*; если крутящий момент превышает допустимый для М. данного диаметра, то муфта начинает проскакивать и М. останавливается. На фиг. 35, Б показан разрез фрикционной муфты более простой конструкции. Для массового нарезания глухих отверстий применяются реверсивные муфты, которые при неизменном направлении вращения шпинделя сверлильного станка по достижении М. определенной глубины изменяют направление его вращения на обратное и вывертывают его т. о. из отверстия. Одна из конструкций реверсивной муфты приведена на фиг. 36; верхняя часть представляет собой фрикционную муфту, регулируемую винтом *а*; таким образом являющийся нижней половиной фрикционной муфты кожух *б* непрерывно вращается вместе со шпинделем сверлильного станка. Нижняя часть *в* муфты удерживается от вращения стержнем *г*, который опирается на станину станка; в муфте свободно ходит шпиндель *д* патрона *е*, имеющий в верхней части выступ *жс*. В муфте *б* укреплена зубчатка *з* с внутренним зацеплением, сцепляющаяся с двумя планетарными шестеренками *и*, *и*, сидящими на осях, укрепленных в неподвижной части муфты *в*; таким обр. шестеренки вращают с увеличенной приблизительно вдвое скоростью зубчатое колесо *к*, снабженное кулачками и свободно надетое на шпиндель *д* патрона. Пока всю муфту подают вниз, она находит на шпиндель *д* и, захватывая его выступ *жс* шпонками *л*, приводит М. во вращение в рабочем направлении; как только однако упорка *м* дойдет до поверхности нарезаемого предмета, муфта *б* должна будет остановиться в своем поступательном движении, а т. к. М. продолжает вращаться и следовательно двигается попрежнему вперед, то он, увлекая за собой патрон со шпинделем *д*, выведет последний из зацепления с муфтой *б*, вследствие чего метчик остановится. Если теперь начать поднимать муфту *б* (вместе со шпинделем сверлильного станка), то выступ *жс* будет захвачен вращающимся в обратную сторону колесом *к*, которое и начнет вывинчивать М. из отверстия.



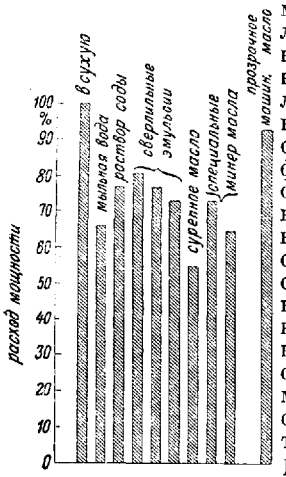
Фиг. 35.



Фиг. 36.

Важным фактором при нарезании резьбы М. является качество охлаждающей жидкости. Произведенные в Германии, Англии и США многочисленные опыты с несомнен-

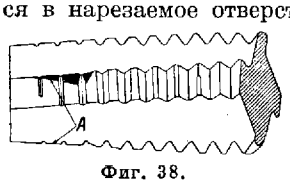
ностью установили, что обычное машинное масло совершенно непригодно для охлаждения М. Сверлильные эмульсии (так наз. «растворимые сверлильные масла») хотя и лучше смазочного масла, но также не дают полного эффекта; наиболее подходящими являются жирные растительные и животные масла (например полученный из свиного сала олео-маргарин, спермацетовое масло, сурепное масло); применение смеси этих масел с обработанными особенным способом минеральными маслами (так. назыв. «искусственные лярдовые масла») дает различные результаты, в зависимости от ее состава. Диаграмма фиг. 37 показывает относительную мощность, затраченную на нарезание отверстия, в % от мощности при нарезании всухую. При этом необходимо принять во внимание, что при охлаждении жирными маслами и отчасти эмульсией не только понижается расход мощности, но и увеличивается срок службы М. и улучшается качество нарезки. Для нарезания М. резьбы в различных материалах могут быть рекомендованы следующие охлаждающие жидкости:



Фиг. 37.

Мягкая сталь, железо	Эмульсия, сурепное масло, литопон + сурепное масло, олеин
Инструментальн. сталь	Сурепное, спермацетовое масла, ворвань, вареное свиное сало, олеин, олео-маргарин
Легированные стали	Бензол, скипидар + керосин (5+1), олео-маргарин
Стальное литье, ковкий чугун	Эмульсия, литопон+сурепное масло
Чугун	Всухую, литопон+сурепное масло, керосин, графит с бычьим салом
Латунь, томпак	Всухую, при работе на автоматах—сурепное масло
Бронза	Всухую, сурепное масло
Медь	Всухую, сурепное масло, шерстный жир
Никель	Эмульсия
Нейзильбер	Всухую или эмульсия
Цинк	Эмульсия
Алюминий	Всухую, керосин, эмульсия
Дуралюмин	Сурепное масло
Электрон	Всухую или 4%-ный водный раствор фтористого натрия

Охлаждающая жидкость должна подаваться в нарезаемое отверстие сильной струей с таким расчетом, чтобы вымывать оттуда стружки. При машинной нарезке М. резьбы могут быть применяемы скорости резания, указанные в табл. 8. М. начинает тупиться обычно в приемном конусе, причем сильнее всего тупится задняя половина последнего, как показано на

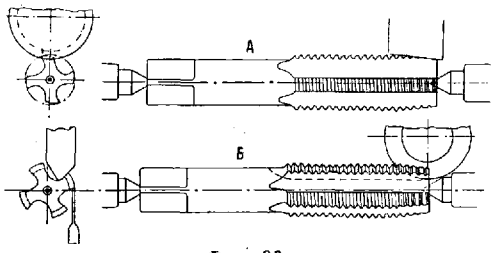


Фиг. 38.

Табл. 8.—Скорость резания при машинной нарезке.

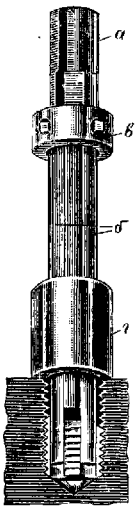
Материал	Для М. из инструм. стали в м/мин	Для М. из быстрорежущей стали в м/мин
Чугун, отверстия малого диам (≤12 мм)	6	10—12
Чугун, отверстия большого диам (>12 мм)	5	8—10
Сталь мягкая	4—4,5	12—15
» инструментальная	3	6—7,5
» легированная	—	4—5
Латунь, алюминий	12—15	20—25

фиг. 38 стрелками у А. Поэтому рекомендуемая иногда система точки М. по поверхности груди подобно фасонным фрезерам



Фиг. 39.

безусловно неправильна. Правильный способ точки изображен на фиг. 39, А: шлифовальный круг должен быть сточен на конус соответственного угла; М. ставят на центры бабки, снабженной делительным и затылочным приспособлениями; последнее условие совершенно необходимо, т. к. иначе М. не получит необходимой в конич. части задней заточки. После того как рядом последовательных проходов, при обильной подаче охлаждающей жидкости, будут сняты все следы притупления на заборном конусе, осматривают режущие кромки на последнем и лишь в том случае, если они не совсем остры, слегка затачивают грудь гребенок фасонным наждачным кругом, как показано на фиг. 39, Б.



Фиг. 40.

В заключение упомянем о весьма полезном инструменте для извлечения из отверстий сломавшихся в них М. Инструмент этот (фиг. 40) состоит из стержня *а* диам. равного внутреннему диаметру нарезки, снабженного четырьмя канавками, аналогичными таковым М.; по канавкам ходят четыре (для четырехканавочных М.) фасонных шпонки *б*, объединенных скользящим по стержню кольцом *в*; скользящее свободно по стержню кольцо *г* имеет целью удержать шпонки в канавке. Способ действия инструмента ясен из фиг. 40.

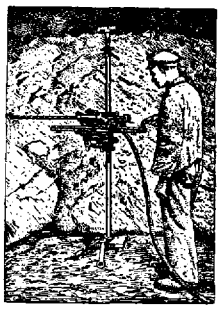
Лит.: Гузевич Д. Г., Метчик, Элементы, форма, конструкция, Л., 1927; его же, Как работать метчиком, Л., 1926; Туссен Е., Винторезный инструмент, пер. с нем., Л., 1928; Валентине А. Л., Метчики, пер. с англ., М.—Л., 1930; Семенченко

И., Метчики, М., 1926; Spanabhebende Werkzeuge für die Metallbearbeitung u. ihre Hilfseinrichtungen, Schriften d. Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure, B. 3, hrsg. v. J. Reindl, B., 1925; «DIN»-Taschenbücher, Werkzeuge, B., 1928, 6; Technisches Hilfsbuch, hrsg. v. Schuchardt u. Schütte, 7 Aufl., B., 1928; De Leeuw A. L., Metall Cutting Tools, N. Y., 1922; Machinery's Encyclopedia, N. Y., vol. 1—7, N. Y., 1917—25; Machinery's Handbook, 7 ed., N. Y., 1928; Gottwein K. Kühlen u. Schmieren b. d. Metallbearbeitung, 2 Auflage, Berlin, 1928; Valentine A. L., Design a. Construction of Taps, «Machinery», L., 1927, v. 30, pp. 139, 240, 363, 489, 577, 705; Valentine A. L., Securing Best Results in Tapping, ibid., 1927—28, v. 31, pp. 537; Valentine A. L., Devices for Thread Measurements, ibid., 1927—28, v. 31, pp. 418, 476; Valentine A. L., Lubricants for Tapping, «Machinery», N. Y., 1927—28, v. 34, 6, p. 418; The Lindner Thread a. Tap Grinding Machine, «Machinery», L., 1928, v. 32, p. 669; Étude sur la génération des filets à vis, «Machine moderne», P., 1927, v. 21, p. 417; Schleifen v. Schraubengewinden, «Z. d. VDI», 1929, B. 73, 37, p. 1327; Screw Taps, «Machinery», L., 1928, v. 32, 843; Kurrein M., Die Prüfung d. Gewindebohrer, «Werkstattstechnik», B., 1925, H. 17; Dierauer G., Über Konstruktion v. Gewidebohrer, ibid., 1919, H. 20, p. 305; Feigenspan H., Konstruktion v. Gewindebohrer, ibid., 1920, H. 4, p. 112; Berk, «Praktischer Maschinenkonstrukteur», Lpz., 1921, 25.

Л. Павлушков.

МЕХАНИЗАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ, применение машин и механических приспособлений для замены мускульного труда при производстве разного рода работ в горном деле. М. г. р. по сравнению с ручным трудом дает следующие преимущества: 1) возможность увеличения производительности предприятия без дополнительного развития подземных выработок; 2) облегчение условий труда и повышение его производительности; 3) сокращение рабочей силы и в связи с этим уменьшение расходов по ее содержанию; 4) уменьшение стоимости продукции благодаря возможности наиболее полно провести рационализацию процессов производства. Главные условия рациональной организации горных работ при механизации их следующие: 1) увязка всех производственных процессов т. о., чтобы темп одного из видов работ соответствовал темпу другого связанного с ним вида работ; при отсутствии этого условия, если одни виды работ будут механизированы полностью, а другие связанные с ними процессы работ будут вестись при помощи мускульной силы рабочих, то эффект такой механизации будет значительно понижен, так как машины не м. б. полностью использованы; 2) концентрация подземных работ на возможно меньшем числе участков; 3) все связанные один с другим процессы работ, как зарубка, отбойка, доставка ископаемого, крепление забоя и пр., должны производиться в одно и то же время, по крайней мере цикл всех работ д. б. уложен в одну смену. При соблюдении этих условий помимо лучшего использования машин достигается: а) сокращение числа пунктов добычи, что связано с уменьшением длины подготовительных выработок и расходов по их проведению и поддержанию; б) увеличение скорости подвигания очистки забоев, что влечет за собой понижение давления пород в очистных выработках и в связи с этим понижение расходов по креплению их и уменьшение опасности от обвалов; в) сокращение общего расстояния доставки ископаемого от очистных забоев до ствола шахты и сосредоточение грузов, что позволяет применить мощные транспортные средства (выгодные только при большой их производительности); г) улучшение вентиляции выработок благодаря меньшим потерям воздуха; д) сокращение персонала по надзору за работами. Наиболее рациональной в современных условиях признается такая организация производства, при которой работа ведется непрерывным потоком; при этом достигаются максимальное использование всего оборудования предприятия и наибольшая производительность труда. Однако такая организация работ в горном деле не м. б. осуществлена полностью в виду специфич. условий работы под землей и отсутствия достаточно совершенных машин, к-рые позволили бы полностью механизировать все виды подземных работ.

1. Проходка выработок. Работы по проходке выработок сводятся главн. обр. к бурению шпуров, уборке и доставке породы из забоя на поверхность. При бурении шпуров в породах средней и большой крепости наиболее целесообразным является применение пневматических бурильных молотков. Обычно применяются молотки весом от 10 до 25 *кг*. При бурении вертикальных, направленных вниз, шпуров более выгодны тяжелые буровые молотки, т. к.



Фиг. 1.

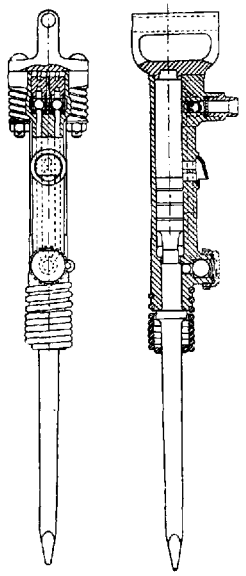


Фиг. 2.

увеличение веса молотка повышает производительность его. При бурении горизонтально расположенных или наклонных шпуров, в случае применения тяжелых буровых молотков (свыше 15—16 *кг*), их приходится устанавливать на подставках (фиг. 1), укрепляемых на колонках или кронштейнах, что связано с затратой лишнего времени и увеличением стоимости проходческого оборудования. Поэтому применение тяжелых бурильных молотков при бурении горизонтально расположенных или наклонных шпуров оправдывается лишь при работе по крепким породам или в случае длинных шпуров. При бурении шпуров, направленных вверх, для поддержания бурового молота обычно применяют специальные подставки (фиг. 2), к-рые при помощи сжатого воздуха производят нажим бура на дно скважин и сообщают буровому молотку поступательное движение вверх. Важным вопросом при бурении является удаление буровой пыли из шпура. При вертикальных шпурах, направленных вверх, пыль во время работ удаляется под давлением собственного веса; при горизонтальных и слабо наклонных шпурах удаление пыли достигается путем применения буров с винтовой поверхностью; при вертикаль-

ных, направленных вниз и сильно наклонных шпурах удаление пыли производят или путем продувки шпуров сжатым воздухом (специальный тип бурового молотка — с продувкой) или путем промывки их водой под давлением. Применение последнего способа ограничено наличием водопровода. Неудобство продувки шпуров—появление облаков каменной пыли, вредно действующей (особенно, если она содержит значительный процент кремнекислоты) на дыхательные органы рабочих. Производительность пневматич. бурильных молотков колеблется в широких пределах в зависимости от крепости породы, веса бурильного молотка и других условий работы. Для молотков среднего веса (15—16 *кг*), при диаметре горизонтальных шпуров в 32 *см* при очень крепких породах (кварцевые порфиры, граниты и т. п.) скорость бурения составляет 3—8 *см/мин*. при бурении в крепких породах (песчаники)—5—12 *см/мин*, в породах средней кр пости (сланцы, мягкие песчаники)—10—25 *см/мин*, а в более мягких породах—до 80 *см/мин*. Скорость бурения вертикальных, вниз направленных шпуров обычно на 10—25% больше, чем горизонтальных. Скорость механич. бурения почти в 10 раз больше, чем скорость ручного бурения. Расход сжатого воздуха на 1 молоток в среднем ок. 1,6 *м³/мин*, что соответствует расходу энергии ок. 7 kWh. В случае бурения в породах незначительной крепости (уголь, соль и т. п.) вместо пневматич. ударных бурильных молотков часто применяют коловратные перфораторы с ручным, пневматич. или электрич. приводом (электрич. сверла). При проходке выработок по мягким и трещиноватым породам, когда *взрывные работы* (см.) не дают положительных результатов, часто применяются отбойные пневматические молотки (фиг. 3) или пневматические лопаты (фиг. 4). Механизация работ, при рациональной организации их, в 2—3 раза повышает скорость проходки по сравнению с ручной работой.

2. Очистные работы. Механизация работ в горной промышленности, особенно в каменноугольной, имеет особо важное значение для очистных работ, поэтому применение машин в этих работах достигло наибольшего развития. В зависимости от характера полезного ископаемого и условий его разработки виды механизированной добычи и типы применяемых машин значительно разнятся между собой. При разработке каменноугольных пластов средней и большой крепости наибольшее значение имеет работа по производству вруба и отбойке угля. Для производства вруба обычно пользуются *врубовыми машинами* (см.) легкого и тяжелого типа (весом от 2 до 3 *т*) с электрич. и пневматич. моторами. Применение врубовых машин при разработке других полезных ископаемых ограничивается отдельными случаями. Работы же по отбойке угля имеют много общего с аналогичными работами при добыче полезных ископаемых. При значительной крепости ископаемого наиболее целесообразным способом отбойки нужно считать взрывные работы, при которых механизация сводится к применению бурильных пневматич. молотков или коловратных перфораторов (сверл). При средней и малой крепости ископаемого часто для отбойки его применяют пневматич. отбойные молотки и лопаты. Особенное распространение получили пневматич. отбойные молотки в каменноугольной промышленности. Условия, при которых с выгодой м. б. применимы отбойные молотки, следующие: 1) незначительная крепость угля и ясно выраженный кливаж его; 2) значительная мощность пласта; 3) крутое падение пласта; 4) неровная почва пласта и наличие геологических нарушений; 5) слабая кровля пласта; 6) наличие в пласте пустой



Фиг. 3.

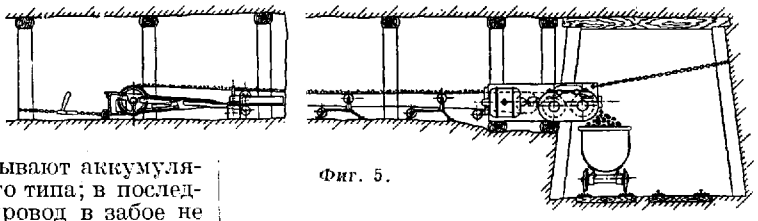


Фиг. 4.

породы, которая загрязняет уголь при отбойке его взрывчатыми веществами; 7) высокая заработная плата. Отбойные молотки в очистных работах обычно применяются там, где не требуется предварительная зарубка угля или где применение врубовой машины затруднено. Но в некоторых случаях отбойку угля пневматич. молотками производят после предварительной зарубки пласта врубовой машиной, когда взрывные работы по тем или иным причинам нецелесообразны (напр. при значительном выделении метана). Вес отбойных молотков, применяемых в очистных работах, зависит от условий залегания, мощности и характера пласта угля, а также — от способов ведения очистных работ. В тех случаях когда при работе отбойным молотком его приходится держать вертикально или наклонно вниз (на круто падающих пластах) и при значительной крепости угля применяют молотки тяжелого типа весом 10—13 *кг*. Расход воздуха на такой молоток составляет ок. 1 *м³/мин*. При полого падающих пластах и сравнительно мягких углях вес молотка берется от 5 до 8,5 *кг*; расход воздуха на такой молоток составляет от 0,5 до 0,8 *м³/мин*. Производительность отбойного молотка при средней крепости угля обычно равна 8—12 *т* в смену (2—3 *т* на час непрерывной работы). При мягких углях производительность отбойного молотка повышается до 15 *т* в смену. Производительность забойщика,

работающего пневматич. отбойным молотком, выше производительности его при ручной работе обычно в 2, иногда даже в 4 раза. Преимущества пневматич. отбойных молотков по сравнению с врубовой машиной следующие: а) удобство в обращении, простота пользования и отсутствие необходимости иметь специально подготовленный кадр рабочих; б) возможность применения при всяких условиях залегания пластов угля и при любых свойствах их, даже при нарушенных окружающих породах; в) незначительные первоначальные затраты; г) больший выход коммерч. сортов угля и меньшее загрязнение его породой из прослойков; д) отсутствие необходимости пользоваться взрывчатыми веществами и в связи с этим бо́льшая безопасность работ, особенно в опасных по газу и пыли шахтах. Во многих случаях эксплоатационные расходы, приходящиеся на 1 *т* добытого угля, при работе отбойными молотками бывают значительно ниже, чем при работе врубовыми машинами с отбойкой угля взрывчатыми веществами. Однако отбойный молоток не дает по существу полной механизации работы, так как она при этом связана с применением мускульной силы; притом работа отбойным молотком утомляет рабочего больше, чем при применении обычных ручных инструментов. Кроме отбойных молотков при отбойке угля и других ископаемых применяются пневматич. лопаты, к-рые употребляются при добыче очень мягких и вязких материалов, и отбойные гидравлические машины, к-рые отбивают уголь под давлением воды, нагнетаемой особым насосом. Однако применение этих машин весьма ограничено.

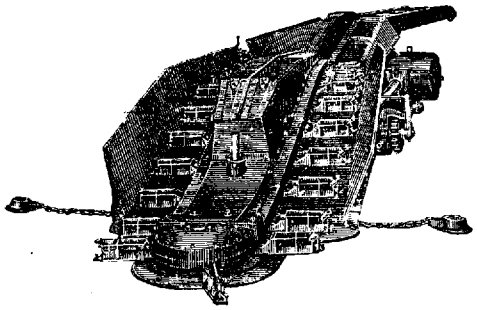
3. Доставка в очистных забоях. Механизация работ по доставке ископаемого (см. *Доставка рудничная*) из забоя до откаточного штрека в простейшем ее виде осуществляется путем применения механической тяги к вагонеткам, санкам и скреперам. Подача вагонеток в забой может производиться посредством головного и хвостового канатов, или посредством бесконечного каната, или наконец при помощи электровозов. В случае применения головного и хвостового канатов тяговая лебедка ставится у откаточного штрека. Рельсовый путь, прокладываемый в забое, обычно ординарный, как и при откатке бесконечным канатом; в последнем случае порожние вагонетки приходится подавать по верхнему вентиляционному штреку. При доставке санками и скреперами применяются тягальные лебедки с головным и хвостовым канатами. Электровозы, которые служат для подачи вагонеток в очистной забой, обыкновенно бывают аккумуляторные или же троллейного типа; в последнем случае троллейный провод в забое не прокладывается, подача же электрического тока к электровозу производится при помощи кабеля, протягиваемого от штрека; этот кабель наматывается на барабан, который помещают на самом электровозе. Доставка ископаемого в очистном забое при помощи вагонеток может осуществляться с успехом только в том случае, если почва забоя является достаточно ровной и имеет незначительный угол наклона. При разработке пластовых залежей доставка в вагонетках применима только при достаточной мощности пласта (свыше 1,2 *м*). Механич. санки и скреперы могут работать и в менее мощных пластах, но они также требуют ровной почвы в забое; особенно это касается скрепера. Недостаток доставки при помощи вагонеток, санок и скреперов заключается в невозможности осуществить беспрерывную выдачу ископаемого из забоя. При большой длине забоя добываемый материал выдается из забоя неравномерно; происходит скопление его в отдельных частях забоя, что влечет за собой задержку работ по выемке ископаемого. Применением *конвейеров* (см.) устраняется этот недостаток. Наиболее распространенным типом конвейера, применяемого в очистных забоях, является качающийся конвейер пропеллерного типа. Такие конвейеры могут применяться при любой длине забоя (устанавливается несколько секций с самостоятельными приводами, каждая секция длиною 80—120 *м*). Однако производительность качающихся конвейеров является в значительной степени ограниченной, обыкновенно не превышающей 60 *т/ч*, при горизонтальном же или слабо наклонном положении конвейера производительность его ограничивается 40—50 *т* угля в час. Более мощные качающиеся конвейеры в виду их громоздкости не применяются. К недостаткам качающихся конвейеров, в условиях работы их в очистных забоях, нужно отнести также: а) затруднения в пользовании ими при волнистой почве забоя и б) невозможность доставки ими на подъем свыше 5°. При современных системах работ в каменноугольной промышленности длина забоя достигает иногда 300 *м*, а количество угля, добываемого в смену в таком забое, — 700 *т* и более. Единственными транспортными средствами, способными справиться с такой добычей, являются ленточные и скребковые конвейеры. К недостаткам последних относятся их громоздкость (особенно при большой производительности и длине их) и дороговизна установки и содержания их, дробление угля при доставке и шум при работе. Длина их обычно ограничивается 60—80 *м*. Скребковые конвейеры распространены главн. обр. в США. Ленточные конвейеры получили большее распространение, чем скребковые. Лента обычно резиновая; форма несущей поверхности ленты чаще плоская, реже лотковая. На фиг. 5 изображена установка ленточного конвейера в забое. Ленточные конвейеры по сравнению с качающимися имеют следующие преимущества: а) применимость при большой



Фиг. 5.

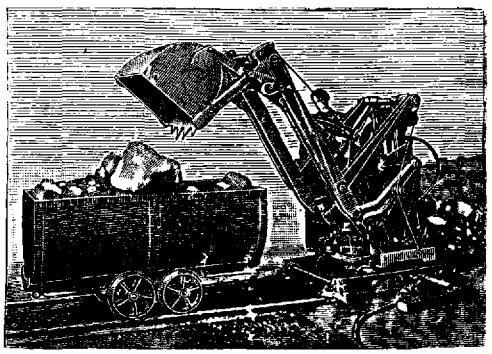
производительности забоя (100 *т/ч* и более), при волнистой почве забоя, при доставке по восстанию под углом свыше 5°; б) меньший расход энергии; в) меньшие расходы по обслуживанию, особенно при значительной длине забоя, когда качающийся конвейер должен иметь несколько приводов, ленточный же конвейер до 300 *м* длины может иметь один привод; г) отсутствие шума при работе; д) возможность производить сортировку материала в забое на ходу ленты, если скорость последней незначительна. Отрицательным качеством ленточного конвейера является его высокая стоимость, превосходящая в 5—6 раз стоимость качающегося конвейера. Перестановка ленточного конвейера в забое занимает обычно столько же времени и рабочих рук, сколько и перестановка качающегося конвейера. Стоимость доставки ленточными конвейерами в забоях при производительности 40—60 *т/ч* и длине конвейера 150—200 *м* почти одинакова со стоимостью доставки качающимися конвейерами и составляет обыкновенно 20—40 к. на 1 *т* угля.

При механизации доставки в забое важное значение приобретает вопрос о погрузке ископаемого на конвейер или в вагонетки. В США имеют значительное применение погрузочные машины со скребками (фиг. 6), ленточные конвейеры передвижного типа в соединении со скребками и т. п., а также маленькие ковшовые погрузочные машины экскаваторного типа и пр. Эти машины являются однако сравнительно дорогими, а



Фиг. 6.

главное громоздкими, что исключает применение их при разработке пластов незначительной мощности, при слабой кровле и т. п. Более компактной и удобной для подземных работ является грузочная машина, изображенная на фиг. 7. Эта машина м. б. установлена в выработках высотой от 2,2 *м*. Особым преимуществом ее является способность поворачиваться на 180° вокруг вертикальной оси при неподвижно установленной тележке. Более простой погрузочной машиной, с успехом применяемой в угольных забоях, является т. н. утиный нос, производительность которого может достигать 40—60 *т/ч*. Однако применение этой машины оправдывается только в том случае, если забой имеет незначительную длину (до 10 *м*); обычно он применяется при камерно-столбовой системе выемок и при системе работ заходками. В тех случаях, когда материал, доставляемый из забоя, приходится разгружать на почве выработки, для погрузки его в вагонетку или конвейер (служащие для доставки по штрекам) с успехом применяются погрузочные машины в виде передвижного ленточного конвейера, устанавливаемого на платформе, передвигаемой по рельсовым путям. При доставке материала по штрекам конвейерами особенно удобна телескопическая погрузочная машина («гусиная шея»), которая позволяет вносить



Фиг. 7.

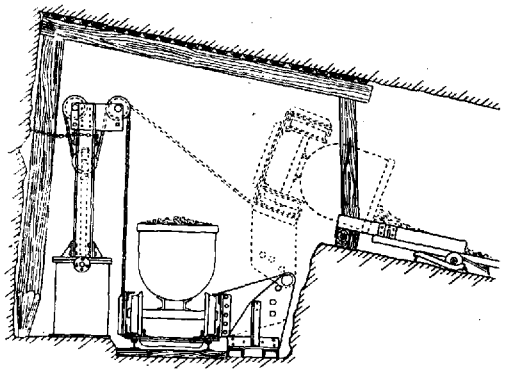
материал на конвейер при значительном удалении последнего от забоя; при этом нет необходимости наращивать конвейер через короткие промежутки времени.

4. Доставка по штрекам и квершлагам. Механизация работ при доставке материала по штрекам, квершлагам и т. п. в случае применения вагонеток осуществляется при помощи канатной или цепной тяги или при помощи локомотивов: электровозов, воздуховозов или бензиновозов. Канатная откатка является наиболее простой и требует меньших первоначальных затрат. При небольших расстояниях доставки и при небольшой добыче с успехом может применяться откатка концевым канатом или откатка головным и хвостовым канатами. При значительных расстояниях доставки и при большой производительности применяется откатка бесконечным канатом или цепью. Главным недостатком откатки при помощи канатов и цепей в условиях рудника являются: а) ограниченная производительность такого рода откатки; б) затруднения в работе при меняющемся уклоне выработок и при искривлении их; в) потребность в значительном парке вагонеток; г) затруднения в пользовании вагонетками большого тоннажа (свыше 1,5 *т*) при маневрах их. Откатка по подвесной дороге (с жестким несущим рельсом) может применяться в подземных выработках только в исключительных случаях, при очень больших расстояниях доставки и при наличии выработок большого поперечного сечения. При откатке на значительное расстояние (свыше 1 *км*), особенно при большой производительности рудника, с выгодой м. б. применены локомотивы. Электровозы, особенно контактовые, имеют преимущественное распространение, т. к. стоимость откатки ими на 1 *ткм* обычно ниже по сравнению с другими типами рудничных локомотивов. При производительности откатки 100 *т/ч* и выше стоимость подземной откатки троллейными электрово-

зами обычно составляет 12—15 к. на 1 *ткм*. Главным недостатком троллейного электровоза является невозможность откатки им при значительных уклонах выработок (свыше 4°). Далее, такие электровозы не могут применяться в выработках, где имеется присутствие рудничного газа, так как искры, образующиеся в контакте с проводом, могут воспламенить газ. Наличие голого провода с высоким напряжением электрического тока также представляет опасность. Совершенно безопасными в этом отношении являются аккумуляторные электровозы. Они с успехом могут применяться при откатке на сравнительно небольшие расстояния в качестве сборных локомотивов для подачи вагонеток в забой и т. п. Однако первоначальные затраты и стоимость откатки при применении аккумуляторных электровозов значительно выше, чем при троллейных электровозах (примерно в два раза). Что касается бензиновозов и воздуховозов, то применение их для подземной откатки может оправдываться только при отсутствии электроэнергии или при специфических условиях работы в руднике. При применении локомотивов предельная производительность откатки зависит от грузоподъемности вагонеток. Если расстояния откатки незначительны, то при большой производительности шахты во многих случаях вместо вагонной доставки по штрекам, уклонам, квершлагам и т. п. с успехом могут применяться конвейеры—качающиеся, ленточные, гусеничные и скребковые. При большой производительности (свыше 100 *т/ч*) или при уклонах, не допускающих применения электровоза, наиболее пригодными являются ленточные конвейеры. При ограниченной ширине выработок ленточные конвейеры могут дать такую производительность, какая немыслима при доставке другими способами. Так например, производительность конвейера с лентой шириной 1,2 *м* может достигать 1 500 *т/ч*. Стоимость доставки ленточными конвейерами зависит прежде всего от их производительности. При расстоянии доставки от 200 *м* и выше при производительности ленточного конвейера 100 *т/ч* стоимость доставки им составляет 30—45 к., а при производительности 300 *т/ч*—около 20 к. на 1 *ткм*. Особые выгоды по сравнению с вагонной доставкой при небольших расстояниях доставки дает применение ленточных конвейеров в тех случаях, когда приходится доставлять значительные массы материала с нескольких горизонтов по гезенкам на один квершлаг (штрек, штольню). В обычных условиях доставки по штрекам, бремсбергам и т. п. применение ленточных конвейеров дает следующие преимущества по сравнению с вагонной доставкой: 1) сокращается рабочая сила по обслуживанию транспортных средств; 2) уменьшается количество промежуточных выработок, сокращаются расходы по прохождению выработок и их поддержанию (выработки могут иметь меньшие размеры); 3) уменьшается число несчастных случаев. К недостаткам ленточных конвейеров нужно отнести: 1) высокую стоимость их; 2) невозможность доставлять по ним людей; 3) затруднения при доставке по ним громоздких предметов; 4) необходимость иметь прямолинейные выработки по крайней мере на длину, соответствующую длине одного агрегата конвейера; 5) быструю порчу ленты в случае, если транспортируемый материал подается в кусках большого абсолютного и удельного веса с острыми гранями. Применение скребковых и гусеничных (со стальной лентой) конвейеров для подземной доставки по штрекам значительно ограничено благодаря более высокой стоимости их, громоздкости и более высоким эксплоатационным расходам по их содержанию по сравнению с ленточными конвейерами. Применение их обычно оправдывается в тех случаях, когда доставка ленточными конвейерами бывает затруднена.

5. М. г. р. на рудничном дворе и погрузочных пунктах. В случае применения клетьевого подъема эти операции сводятся к погрузке вагонеток в клеть, выгрузке их из клети и операции по маневрам вагонеток в рудничном дворе. Главные требования, предъявляемые к механизмам и приспособлениям, обслуживающим эти операции, заключаются в следующем: 1) наименьшая продолжительность операции, обеспечивающая максимальную производительность подъема и сокращение простоя вагонеток; 2) по возможности полная автоматизация всех операций с минимальным числом занятых при этом людей; 3) наибольшая простота механизмов и безопасность их. Простейшими механизмами, служащими для автоматич. подачи вагонеток в клеть, являются толкатели—пневматические, гидравлические или электрические. Такой толкатель, приводимый в действие рукоятчиком, при помощи стержня или захвата подает вагонетки в клеть и одновременно выталкивает стоящие в клети вагонетки. Для маневров вагонеток в рудничном дворе и на верхней приемной площадке применяются автоматические стрелки, к-рые распределяют движущиеся самокатом вагонетки по соответствующим путям. Для станова и распределения движущихся самокатом вагонеток применяют самодействующие устройства в виде пружинных буферов, тормозов и т. п., к-рые задерживают вагонетки в нужный момент и дают возможность направлять их по мере надобности на тот или иной путь. Если в рудничном дворе или на верхней приемной площадке движение вагонеток осуществляется самокатом, то приходится применять компенсаторы высоты, к-рые подают вагонетку на некотором участке пути вверх по восстанию. В качестве такого компенсатора высоты применяют обычно подвагонную цепь, по своему устройству приближающуюся к самокатке (см. *Конвейеры* скребковые). Такая цепь движется посредине рельсовой колеи на уровне последней. Прикрепленные к этой цепи захваты упираются в скат вагонетки и заставляют ее двигаться вместе с цепью. Такие подвагонные цепи применяются иногда для передвижения вагонеток и по горизонтальным путям в рудничном дворе и на верхней приемной площадке, а также для передачи вагонеток по наклонным путям с одного горизонта на другой, если рудничный двор и приемная

площадка имеют два горизонта (при многоэтажных клетях). В тех случаях, когда площадь рудничного двора или приемной площадки ограничена, передача вагонеток с одного горизонта на другой производится иногда при помощи специальных лифтов—пневматических, гидравлических или электрических. Такие лифты могут работать совершенно автоматически без участия людей, причем подача вагонеток и выдача последних из клетей производится при помощи автоматически действующих толкателей. К числу операций с вагонетками в шахте и на приемной площадке, требующих применения механизмов, нужно отнести также работу по разгрузке вагонеток над бункерами. Для этих целей служат или круговые вращающиеся опрокиды или приспособления, при помощи к-рых вагонетка опрокидывается на бок. Последние являются более простыми по своей конструкции, и их легче переносить с одного места на другое, но производительность их меньше, чем круговых опрокидов. Такие боковые опрокиды устанавливаются обыкновенно в подземных выработках в тех случаях, когда местонахождение бункера меняется или когда размеры выработок и их расположение затрудняют установку громоздких круговых опрокидов. Преимущественно применение боковые опрокиды имеют в случаях, когда материал приходится перегружать на конвейер, расположенный выше уровня рельсов; при этом вагонетка в момент опрокида приподнимается вверх, как показано на фиг. 8. Боковые

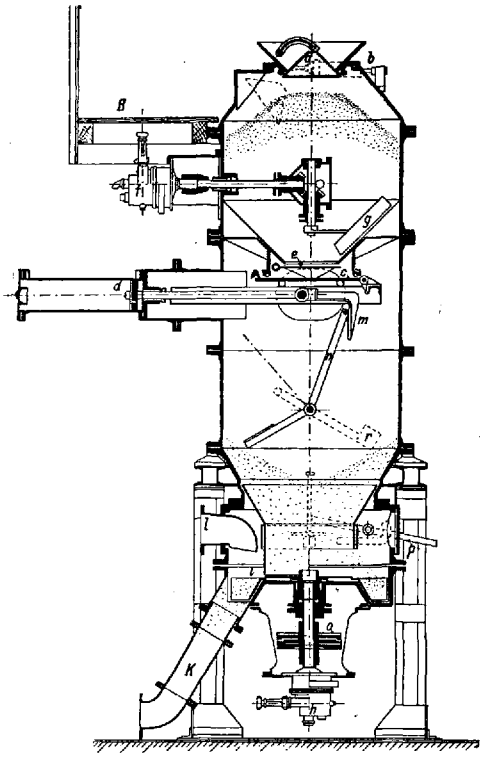


Фиг. 8.

опрокиды обычно действуют при помощи сжатого воздуха. При погрузке материала из бункера на конвейер или в вагонетки применяются механич. питатели различной конструкции и автоматически действующие дозаторы. При погрузке материала с конвейера или из бункера в вагонетку применяются механич. встряхиватели, действующие при помощи сжатого воздуха или электрич. тока и служащие для уплотнения нагружаемого в вагонетки материала. Такие встряхиватели представляют собой платформу, расположенную на уровне рельсового пути и снабженную толкателем, который сообщает платформе и помещенной на ней вагонетке колебательные движения вверх и вниз.

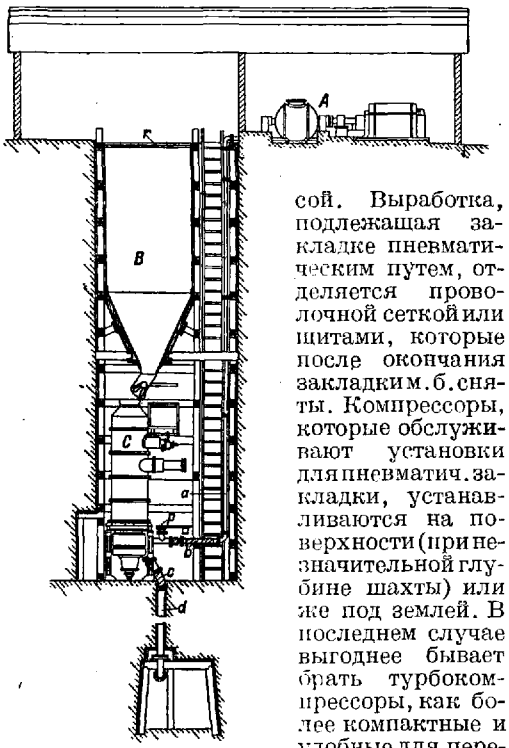
6. Закладка выработанного пространства. Закладка выработанного пространства в рудниках в условиях механизации главнейших видов подземных работ должна удовлетворять следующим основным условиям. 1) Закладка д. б. достаточно плотной, чтобы она допускала лишь минимальную осадку кровли очистных выработок. 2) Работы по закладке должны вестись так, чтобы они не задерживали добычи и допускали возможность максимальной концентрации очистных работ с быстрым подвиганием забоя. В этом отношении наиболее подходящим способом закладки является такой, при к-ром доставка закладочного материала в выработанное пространство и самый процесс закладки происходят независимо от работ по добыче и доставке ископаемого; при этом количество подаваемого закладочного материала и скорость процесса закладки должны соответствовать темпу очистн. работ. 3) Работы по закладке должны быть по возможности полностью механизированы, с минимальным числом занятых при этом людей. Из применяемых на практике современных способов закладки указанным условиям наиболее удовлетворяет пневматич. закладка. Этот способ состоит в том, что закладочный материал подается в трубопровод и увлекается движущимся по трубе с большой скоростью воздухом. Чтобы частицы материала могли двигаться по трубопроводу с минимальным сопротивлением, необходимо сообщить им такую скорость, при к-рой они располагались бы ближе к оси трубопровода и не касались стенок последнего. Такая скорость «парящего полета» частиц закладочного материала при размерах их от 30 до 50 *мм* в поперечнике и при уд. весе материала 2—2,5 должна составить в среднем ок. 45 *м/сж*, а для камней размером 80 *мм* в поперечнике—ок. 60 *м/сж*. С увеличением удельного и абсолютного веса частиц материала скорость их должна возрастать. Скорость воздуха в трубопроводе д. б. несколько больше скорости парящего полета частиц материала. Сжатый воздух подается в трубопровод от компрессора, производительность к-рого и давление воздуха в к-ром рассчитываются в зависимости от количества и характера транспортируемого по трубопроводу материала и сопротивления трубопровода. Обычно на 100 *м* трубопровода считают потерю давления в нем от сопротивлений в размере от 0,1 до 0,5 *atm*. Количество воздуха, поступающего в трубопровод, берется от 100 до 300 $м^3$ на 1 $м^3$ закладочного материала. Нормальная длина трубопровода—обычно 400—500 *м*; в отдельных случаях она достигает 800 и даже 1 000 *м*; при этом производительность установки обычно снижается против нормальной на 10—20%. Диаметр трубопровода берется от 15 до 30 *см*. Производительность установки обычно бывает в пределах от 25 до 75 $м^3$ закладочного материала в час. Трубы употребляются железные или стальные, реже—чугунные. Особенно сильному износу подвергаются части трубопровода в коленах. Поэтому последние устраивают сборными с внутренними вкладышами из твердой стали; эти вкладыши можно менять по мере их износа. Загрузка материала в трубопровод производится при помощи специальных закладочных

машин типа, изображенного на фиг. 9. Такая машина состоит из двух камер, между к-рыми помещается скользящая задвижка c,



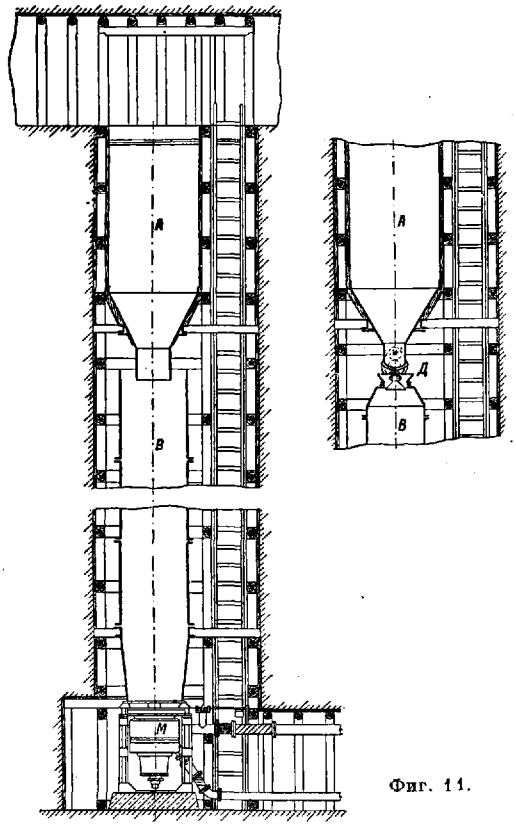
Фиг. 9.

приводимая в действие поршнем d; в верхнюю камеру загружается закладочный материал при открытой загрузочной воронке, закрываемой конич. клапаном a при помощи действующего сжатым воздухом приспособления b; на это время нижняя камера отделяется от верхней при помощи особого клапана e и задвижки c так. обр., чтобы сжатый воздух не мог проникнуть в верхнюю камеру. Скребок g, приводимый в движение пневматич. мотором f, обеспечивает равномерную подачу закладочного материала и предотвращает образование пробки над клапаном. Такое же назначение имеет и скребок n, передвигаемый посредством поршня d и крюка m и возвращаемый в первоначальное положение противовесом r. После загрузки верхней камеры при закрытой загрузочной воронке материал пропускается в нижнюю камеру и здесь попадает на вращающийся диск i, снабженный перегородками. При вращении этого диска мотором h материал подается равномерно в трубопровод k, к которому присоединен воздухопровод l от компрессора. Валы диска i и мотора h соединяются фрикционной муфтой o; рычаг p служит для передвижения муфты, регулирующей поступление материала в подающий механизм. Машина управляется с мостика B. Корпус машины имеет ок. 1,2 $м$ в поперечнике, а по высоте от 4,8 до 7,8 $м$ в зависимости от производительности машины. Схема установки закладочной машины на поверхности показана на фиг. 10. Здесь A—компрессор; a—труба для подвода сжатого воздуха; b—гибкий металлический рукав; p—предохранительный клапан; c—резиновый патрубок; d—трубопровод; B—бункер для закладочного материала; C—закладочная машина; r—решетка, через к-рую проходит закладочный материал. Другой тип установки (под землей) показан на фиг. 11. Здесь M—нижняя камера закладочной машины; верхняя камера машины отсутствует; она заменяется металлич. бункером B высотою 15—20 $м$, к-рый д. б. наполнен материалом во время работы машины на всю высоту. Для предотвращения образования в бункере B пробок, в верхней части гезенка устраивают второй бункер A. Потеря воздуха вследствие просачивания его через слой закладочного материала в бункерах достигает 10—15% всего засасываемого компрессором воздуха. Для устранения просачивания воздуха оба бункера снабжают затворами $Д$. Трубопровод, по которому подается закладочный материал, обычно подвешивается к крепи выработок; при этом необходимо стремиться, чтобы трубопровод был расположен на строго прямой линии, избегать большого числа колен в нем и подъемов вверх. Закладочный материал, выходящий из трубопровода в конце его, обычно имеет громадную скорость полета (до 70 $м/сек$), и благодаря этому он ложится в выработанном пространстве плотной массой. Выработка, подлежащая закладке пневматическим путем, отделяется проволочной сеткой или щитами, которые после окончания закладки м. б. сняты. Компрессоры, которые обслуживают установки для пневматич. закладки, устанавливаются на поверхности (при незначительной глубине шахты) или же под землей. В последнем случае выгоднее бывает брать турбокомпрессоры, как более компактные и удобные для перестановки с одного места на другое. Расход энергии при пневматической закладке составляет обычно ок. 6 kWh на 1 $м^3$ заложенного пространства. Для обслуживания 1 установки требуется обычно 4—6 чел. Общие расходы по пнев-



Фиг. 10.

матической закладке составляют, по данным практики в Германии, от 1,0 до 1,8 мар. на 1 $м^3$ заложенного пространства, не считая стоимости закладочного материала и доставки его до бункера при закладочной машине. Пневматич. закладка, удовлетворяющая указанным выше основным требованиям, предъявляемым к механизированной закладке, имеет еще преимущ ство в том, что вентиляция



Фиг. 11.

подземных выработок, благодаря поступлению добавоч. воздуха из трубопровода, улучшается и повышается безопасность работ. Главные недостатки пневматич. закладки—высокая стоимость оборудования, значительный расход энергии и необходимость пользоваться специально подобранным закладочным материалом. Последний должен состоять из кусков не свыше 40—50 *мм* в поперечнике. Отдельные куски материала в количестве до 10—20% общей массы могут иметь размеры до 80 *мм* в поперечнике. Далее, материал не должен содержать значительного процента глины или других материалов, способных прилипать к стенкам трубопровода. При большом содержании таких материалов (свыше 15—20%), особенно если закладочный материал влажный, происходит закупорка трубопровода.

Другой тип закладочных машин, нашедших применение на практике,—п н е в м а т и ч е с к а я з а к л а д о ч н а я м а ш и н а э ж е к т о р н о г о т и п а. Эта машина состоит из присоединенной к качающемуся конвейеру трубы, в которую подается закладочный материал. Внутри трубы находится сопло, через которое поступает сжатый воздух, подводимый к машине по воздухопроводу. Выходящая из сопла струя сжатого воздуха увлекает с собой закладочный материал и выдувает его в выработанное пространство на расстояние до 4 *м*. Производительность таких машин составляет 20—25 $м^3$ закладочного материала в час; расход воздуха—около 400 $м^3$ на 1 $м^3$ закладочного материала при давлении около 2 *atm*. Для обслуживания установки требуется от 2 до 3 чел., не считая людей, занятых погрузкой материала на конвейер. Плотность производимой такого рода машинами закладки несколько ниже, чем плотность закладки описанными выше пневматическими машинами. По сравнению с последними машины эжекторного типа проще и дешевле, но они могут осуществлять только самый процесс закладки, доставка же материала к ним должна производиться особыми средствами. Имеется еще ряд машин для закладки выработанного пространства, применение которых на практике ограничивается пока опытами. Сюда относятся машины, забрасывающие закладочный материал в выработанное пространство под действием центробежной силы или удара (ш л о д е р ы), машины, к-рые подают материал при помощи жолоба, соединенного с тележкой (ш т о п ф е р ы), скреперы и т. п. Все эти машины обладают тем же недостатком, как и воздушные эжекторы, т. е. они не осуществляют полностью механизацию работы по закладке.

Применяемый много лет на практике гидравлич. способ закладки выработанного пространства—м о к р а я з а к л а д к а—состоит в том, что закладочный материал подается с поверхности по трубопроводу под действием потока воды в трубе. На 1 $м^3$ материала берут обычно от 1 до 2,5 $м^3$ воды. Смешивание материала с водой производится на поверхности у воронки трубопровода; последний прокладывается по шахте и далее по квершлагам и штрекам до забоя. Скорость движения материала в трубопроводе и расстояние, на которое м. б. подан закладочный материал по горизонтальным выработкам, зависят от длины вертикальной части трубопровода. Обычно максимальное расстояние подачи закладочного материала по горизонтали считают равным 8-кратной длине вертикальной части трубопровода. Средняя скорость движения материала в трубопроводе обычно составляет 3—3,5 *м/сек*; диам. трубопровода—150 *мм*; трубы—чугунные или железные. Подлежащее мокрой закладке выработанное пространство отделяется от остальных выработок перемычками. Вода удаляется из закладываемого пространства через фильтрующие устройства в перемычке. Материалом для мокрой закладки могут служить: песок, щебень из крепких неразмокаемых пород, топочные шлаки и т. п. Содержание глины в закладочном материале обычно берется не свыше 10—20%. При мокрой закладке, как и пневматической, процесс доставки закладочного материала до забоя осуществляется независимо от работы по доставке ископаемого. Плотность мокрой закладки выше, чем при ручной закладке, но ниже пневматической. Производительность мокрой закладки

при одном трубопроводе диам. 200 *мм* может достигать 100 *т/ч*. Стоимость закладки, по данным рудников Германии, колеблется от 0,4 до 2 мар. на 1 $м^3$ закладки. По сравнению с пневматич. закладкой мокрая закладка обладает следующими недостатками: 1) она может применяться только при значительной глубине разработки, когда можно получить достаточный напор воды трубопровода; 2) необходимость откачивать из шахты воду, подаваемую с поверхности по трубопроводу, при наличии затруднений в водоотливе в связи с загрязнением воды; 3) загрязнение выработок и большая влажность в руднике; 4) осложнения с устройством перемычек, которые д. б. очень прочными; 5) задержки в подвигании очистных забоев в связи с тем, что приходится выжидать окончания стока воды из закладки; 6) наличие затруднений при разработке пластов длинными забоями; 7) затруднения в операциях по загрузке трубопровода на поверхности при низкой $t°$.

Лит.: Шевяков Л. Д., Разработка месторождений полезных ископаемых, Харьков, 1928; Бажен Г., Рудничная доставка по горизонтальным и наклонным путям, перевод с нем., Харьков, 1929; Сборник материалов по рационализации каменноуг. промышленности за границей, вып. 1 и 2, Харьков, 1929; Справочник по каменноуг. делу, составленный под ред. А. А. Скочинского, Харьков, 1929; Горбачев К. И. и Гармаш А. И., Закладка выработанного пространства на рудниках Германии, «ГЖ», 1929, *8—9*; их же, Ленточные транспортеры в применении для подземной доставки в рудниках, там же; Сидоров А. П., Мокрая закладка, Москва, 1929; Heise F. u. Herbst F., Lehrbuch d. Bergbaukunde, B. 1—2, B., 1923. **А. Гармаш.**

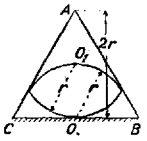
МЕХАНИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, см. *Сельское хозяйство.*

МЕХАНИЗМЫ, системы тел, в которых перемещение одного тела (ведущего) вызывает совершенно определенные перемещения остальных тел системы. Одно из тел механизма рассматривается при этом как неподвижное и перемещения остальных тел определяются относительно этого неподвижного тела, называемого стойкой; остальные тела М. называются звеньями М. Обычно в состав М. входят твердые неизменяемые тела, но встречаются М., в состав к-рых входят растягиваемые гибкие тела (ремень, канат, цепь) или жидкости под давлением. Изучением состава М., путей различных точек их, скоростей и ускорений этих точек занимается прикладная механика в узком смысле этого слова, или кинематика М. Вместе с возникновением прикладной механики как науки (1800 г.) вырабатывается классификация М., основанная сначала на принципе «превращения движений и преобразования скоростей». В книге Виллиса [1] эта классификация получила свое завершение. Классификация Виллиса сохраняется в нек-рых учебниках прикладной механики и до сих пор; в ее основу положена мысль о том, что назначением М. является преобразование величины или направления скорости движения, причем упускаются из виду остальные кинематич. элементы движения—путь и ускорение. Виллис различает три случая изменения соотношений величины и направления скорости ведущего и ведомого звена: 1) соотношение направлений и величин скоростей остается постоянным; 2) соотношение направлений остается постоянным, соотношение величин скоростей изменяется; 3) соотношение направлений движения М. изменяется, соотношение величин скоростей либо изменяется либо сохраняется постоянным. Соответственно этим трем случаям различаем 3 класса М.: 1-й класс—клин, винт, цилиндрич., конич. и гиперболоидальные зубчатые и фрикционные колеса, червячная передача, групповые приводы и эпициклические приводы зубчатых колес, передачи гибким телом (ременная, канатная и цепная), гидравлич. передача и т. п.; 2-й класс—некруглые зубчатые колеса, колеса с неполным числом зубцов, гуков шарнир, нек-рые шарнирные М., и пр.; 3-й класс—кулачные М. и большинство шарнирных М. Классификация Виллиса обладает значительными недостатками; в основу ее положен случайный признак — соотношение скоростей; один и тот же тип М., напр. шарнирный четырехзвенный М. при одном соотношении длин звеньев оказывается во 2-м, при другом—в 3-м классе; в один и тот же класс входят М. самой различной структуры как плоские, так и пространственные; научно-механич. исследование М., расположенных по классификации Виллиса, требует многократных повторений и вообще отличается бессистемностью; классификация Виллиса совершенно не приспособлена к исследованию более сложных М., например шарнирных с числом звеньев более четырех. Поэтому ее нужно считать устаревшей.

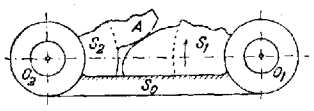
Труды Рело [2], особенно Бурместера [3], дали принятую в современной науке классификацию М., к-рая в основных чертах основывается на структуре М. Согласно этой классификации, кинематику М., как и всю теоретич. кинематику, разделяют на кинематику плоских М. и кинематику пространственных М. Пути всех точек звеньев плоского М. располагаются в одной плоскости или в плоскостях взаимно параллельных, без искажения проектирующихся на плоскость чертежа; кроме того и относительная траектория, т. е. путь какой-нибудь точки одного подвижного звена относительно плоскости или пространства, неразрывно связанных с другим подвижным звеном, есть также плоская кривая, расположенная в плоскости чертежа. Пути точек пространственного М. могут быть плоскими или пространственными кривыми (напр. сферическими); во всяком случае пути эти не должны лежать во взаимно параллельных плоскостях или относительные траектории их не должны быть плоскими кривыми или располагаться во взаимно параллельных плоскостях. Примером пространственного М. может служить пара конических зубчатых колес; каждое колесо вращается вокруг своей оси и его движение—плоское, однако плоскости движения шестерни и зубчатки не параллельны между собою, а относительные траектории, на изучении которых основано правильное профилирование зубцов, суть сферич. кривые (см. *Зубчатые колеса*).

Первым этапом в изучении М. является знакомство с кинематич. парами, т. е. с простейшими кинематическими сочленениями, к-рые разделяются на низшие и высшие сочленения. Низшие

сочленения плоских М. суть: цилиндрич. шарнир и ползун; низшие сочленения состоят из стойки и подвижного звена и обладают свойством обратимости; это значит, что если подвижное звено превратить в стойку, то от этого кинематич. характеристики (пути, скорости и пр.) не изменятся. Четыре звена, соединенные между собою шарнирами или ползунами, представляют собою простейший шарнирный М., известный под именем четырехзвенной цепи, или четырехзвенного М., или четырехшарнирного М., или шарнирного четырехугольника. Высшие сочленения плоских М. образуются непосредственным соприкосновением двух тел. Примером высшего сочленения двух тел является неприменяемое в машиностроении сочленение дугового двуугольника в равностороннем тр-ке (фиг. 1), обладающее одной степенью свободы, т.к. при

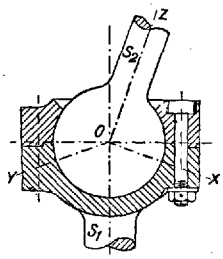


Фиг. 1.



Фиг. 2.

всяком положении двуугольника имеем три точки касания; чечевицеобразный вырезок OO_1, ограниченный двумя цилиндрич. поверхностями радиуса r, катится без скольжения по одной грани полой равносторонней призмы ABC, сечение к-рой имеет высоту $2r$, скользя ребрами по двум другим граням. В машиностроении распространено другое высшее сочленение (фиг. 2), состоящее из трех звеньев: стойки O_2O_1 с двумя цилиндрическими шарнирами и двух звеньев S_1 и S_2, к-рые совершают вращательные движения. Эти звенья соприкасаются в точке A, и ведущее звено, напр. S_1, заставляет двигаться ведомое непосредственным соприкосновением передающих движение профилей, причем один профиль скользит по другому; передача движения прекращается, когда профили перестанут соприкасаться; такое сочленение, или такая кинематич. пара, в к-рой передача движения не вполне обеспечена, называется незамкнутым сочленением или парой с неполными связями. Для обеспечения принужденного движения д. б. приняты какие-либо меры для замыкания цепи; наиболее распространенным является замыкание силой, напр. для замыкания сочленения (фиг. 2) при ведущем звене S_1, вращающемся по часовой стрелке, достаточно снабдить звено S_2 цилиндрич. барабаном с намотанным на него гибким телом, к концу к-рого подвешена гиря, обеспечивающая прижимание S_2 к S_1. В кулачковых М. (см. *Кулак*) замыкание производится пружиной; в *зубчатых колесах* (см.) профили зубцов двусторонни, и, если сделать зазор достаточно малым, то

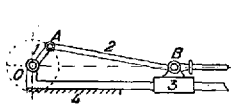


Фиг. 3.

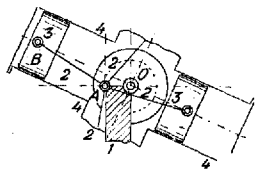
система имеет полные связи. Групповые приводы из зубчатых колес и эпициклич. приводы являются примерами сложных М., образованных из высших сочленений.

Для сочленения пространственных М. служат часто те же элементы, что и для плоских: цилиндрич. шарнир, ползун, передача непосредственным соприкосновением, но иногда применяются и особые пространственные сочленения: 1) цилиндрический ползун в полом цилиндре, имеющий две степени свободы—поступательное движение вдоль оси цилиндра и вращение вокруг нее; 2) шаровой шарнир (фиг. 3), имеющий три степени свободы—вращение вокруг неподвижной точки O, слагающееся из трех вращений вокруг взаимно перпендикулярных осей OX, OY, OZ; 3) винт и гайка (см. *Болт*)—сочленение, имеющее только одну степень свободы, обладающее свойством обратимости и потому относимое к низшим сочленениям.

Итак, при помощи соответственных сочленений можно получить простые М., плоские



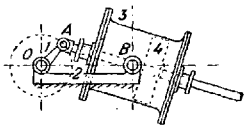
Фиг. 4.



Фиг. 5.

или пространственные. Из всего многообразия возможных при этом комбинаций Рело первый подметил общие черты при кажущемся разнообразии форм и этим указал простейшие пути образования новых М. без увеличения числа звеньев. Если изображать М. схематически, то часто два на вид различных М. имеют тождественные схемы и следовательно представляют собой один и тот же М. Отметим следующие часто встречающиеся методы преобразования М.

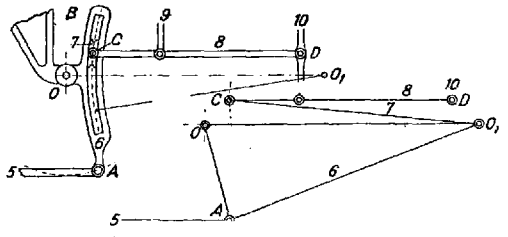
1) Изменение стойки. Как пример рассмотрим прежде всего схему М. зубчатого зацепления (фиг. 2); если неподвижно звено S_0, то имеем обычную зубчатую передачу; если сделать неподвижным одно из зубчатых колес S_1 или S_2, получим схему М. эпициклич. привода. Еще ярче можно иллюстрировать возможное разнообразие на кривошипном механизме (см. *Кривошипный механизм*). На фиг. 4 изображена схема кривошипного механизма обычной поршневой машины (двигателя или насоса) простого действия; стойкой служит звено 4 прямолинейной направляющей. На фиг. 5 изображен тот же кривошипный механизм в схеме авиационного двигателя «Гном» со звеном *1* в качестве стойки и с несколькими цилиндрами (изображено их схематично два), вращающимися вокруг оси O. Наконец в схеме пароходной машины с качающимся цилиндром *3* (фиг. 6) стойкой служит звено *2*, кривошип *1* попрежнему приводит во вращение коренной вал, а пор-



Фиг. 6.

шень 4 с поршневыми скалками совершает сложное движение.

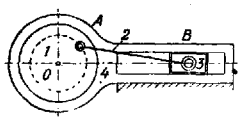
2) Замена коромысла кулисой и обратно. Всякое коромысло, т. е. звено, вращающееся вокруг неподвижной оси и совершающее неполный оборот, м. б. заменено



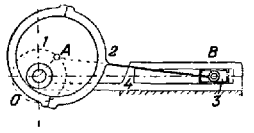
Фиг. 7.

кулисой, т. е. круговым ползуном,—отрезком цилиндрич. кольца, скользящим между двумя цилиндрич. поверхностями. Для примера на фиг. 7 кулиса OAB реверсивного парораспределения Гейзингера, очень распространенного в современных паровозах, с плотно ходящим в ней ползуном C заменена на схеме в нижней части фиг. 7 неизменяемым тр-ком AOO_1 (звено 6), а ползун (камень 7) заменен звеном CO_1.

3) Уширение шипов и изменение размеров звеньев. Внешний вид М. может быть изменен до неузнаваемости изменением размеров звеньев. Так напр., если в кривошипном М. (фиг. 4) увеличить размер шипа O звена 1 настолько, чтобы его

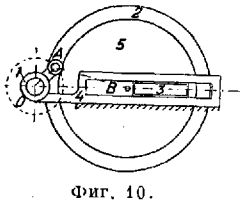


Фиг. 8.

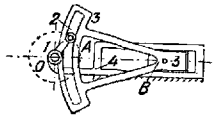


Фиг. 9.

радиус стал больше радиуса кривошипа, то получим М., изображенный на фиг. 8. Если подобным же образом увеличить размер шипа A, то получим изображенный на фиг. 9 эксцентриковый М., составляющий весьма важную часть большинства распределительных М. На фиг. 10 изображен ползун 3 и жестко связанный с ним диск 5, центр к-рого находится в B; при движении ползуна по его направляющей центр B движется вместе с ползуном вдоль направляющей. Диск охвачен кольцом 2, к-рое шарнирно сочленено с пальцем A кривошипа 1, вращающегося вокруг неподвижной оси O. Этот М. получен следовательно увеличением размеров шипа B. На фиг. 11 изображен тот же



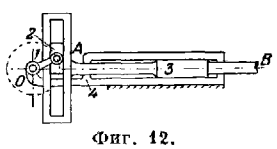
Фиг. 10.



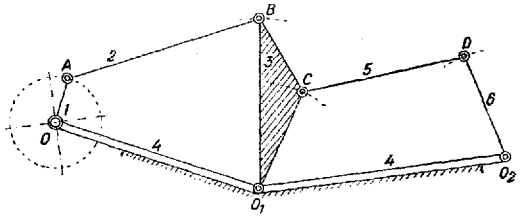
Фиг. 11.

кривошипный М. (фиг. 4), но звено 3 снабжено кулисой радиуса AB, а шатун AB превращен в маленький ползун этой кулисы (камень 2). Наконец на фиг. 12 представлен случай, когда кулиса прямолинейна, т. е. когда радиус AB бесконечно велик; но AB есть длина эквивалентного шатуна кривошипного М., следовательно на фиг. 12 изображен кривошипный М. с бесконечно длинным шатуном.

Перейдем теперь к самой трудной части—классификации многозвенных шарнирных М. Здесь можно отметить ряд неудачных предложений, например: шарнирные М. с числом звеньев более четырех объединить под общим названием—сложные шарнирные М.; или сложные шарнирные М. разделить на шести-, восьми-, десятизвенные механизмы и т. д. Такая классификация чисто формальна и не облегчает работу исследования. Наиболее рациональной из предложенных надо признать классификацию сложных шарнирных М., предложенную проф. Л. В. Ассуром [4]. Рассмотрим обычные методы увеличения числа звеньев шарнирного М., исходя из простейшего четырехзвенного (фиг. 13); для этого проще всего взять еще два звена 5 и 6, соединенных шарниром (двухповодковую группу), и сочленить звено 5 с какой-либо точкой, напр. C, одного из трех подвижных звеньев, напр. 3. Звено 6 присоединим шарнирно к какой-либо точке, напр. O_2, стойки; анализируя добавку к основному четырехзвенному М., замечаем, что она представляет собою также четырехзвенный М. O_1CDO_2, кинематич. исследование которого представляет собой повторение методов исследования М. $OABO_1$. Если бы звено 5 было шарнирно присоединено к какой-либо точке звена 2, то это также не осложнило бы исследования. Прибавляя к полученному М. еще сколько угодно раз по два звена, можем создать М. с каким угодно большим числом звеньев, не осложняя его



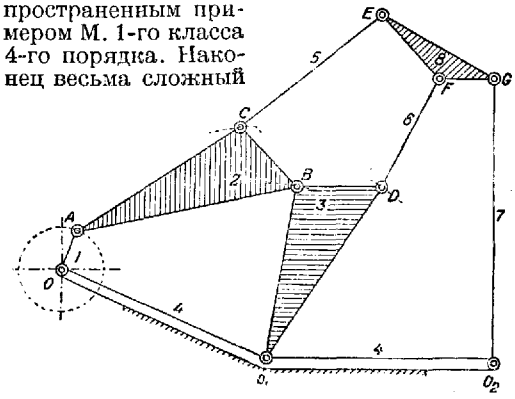
Фиг. 12.



Фиг. 13.

исследования. Осложнения начнут возникать только тогда, когда к М. присоединим трехповодковую группу (фиг. 14), состоящую из одного трехшарнирного звена EFG (звена 8) и трех поводков 5, 6 и 7, сочлененных шарнирно с различными движущимися или неподвижными звеньями М., в данном случае с движущимися точками C и D и с неподвижной точкой O_2. Согласно классификации, предложенной Л. В. Ассуром, простые разомкнутые М., образованные присоединением групп различной сложности, суть М. 1-го класса, которые, смотря по наиболее сложной группе сочленения, входящего в них, подразделяются на порядки. Большинство применяемых в машиностроении

М. суть М. 1-го класса 2-го порядка. Кроме того можно отметить ряд М. 1-го класса 3-го порядка, а именно кулисные М. сист. Стефенсона, Гуча и Аллана, т. к. они содержат одну или две трехповодковые группы. М. кулисы Гейзингера содержит четырехповодковую группу и является весьма распространенным примером М. 1-го класса 4-го порядка. Наконец весьма сложный



Фиг. 14.

М. кулисы, изобретенной русским машинистом Савельевым, относится к М. 3-го класса 6-го порядка. Кроме совершенно новых и оригинальных методов кинематического исследования этих весьма сложных М. в работе Л. В. Ассура намечены также пути образования самых сложных шарнирных М. (замкнутых цепей) и указаны методы графич. построения скоростей и ускорений их точек.

В новейших трудах [5] германских ученых по теории М. (Грюблер, Альт и др.) кроме очерченных выше задач анализа М. (структура, пути различных точек, их скорость, ускорения, центры кривизны путей, центры скоростей, центры ускорений и пр.) поставлены в общем виде и новые задачи: а) кинематики и динамики пространственных механизмов; б) синтеза механизмов, т. е. общих методов построения нового М. данного типа, удовлетворяющего поставленным требованиям, причем длины отдельных звеньев определяются не путем попыток и случайного подбора, а расчетным путем при помощи гл. обр. графических методов.

Лит.: 1) Willis R., Principles of Mechanism, 1ed., London, 1841; 2) Reuleaux F., Theoretische Kinematik, Brschw., 1875; Reuleaux F., Lehrbuch d r Kinematik, Brschw., 1900; 3) Burmester L., Lehrbuch d. Kinematik, B. 1, Lpz., 1888; 4) Ассур Л. В., Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации, «Известия С.-Петербургского политехнич. ин-та», СПБ, 1913, т. 20, стр. 329—385 и 581—635, 1914, т. 21, стр. 187—283 и 475—573; 5) «Z. d. VDI», 1927, p. 164, 1928, p. 1933; Зернов Д. С., Прикладная механика, Л., 1925. **К. Рерих.**

МЕХАНИКА КВАНТОВАЯ, или волновая, представляет собой дальнейшее развитие теории *квантов* (см.), созданной Планком, Эйнштейном и в особенности Бором, который применил ее к строению атомов и молекул. При этом Бор ввел представление о двух типах физич. процессов: процессов стационарных, соответствующих определенному «состоянию» атома (или молекулы) и образующих некоторое прерывное многообразие, и процессов переходных, представляющих собой переходы от одного состояния к другому. В теории Бора стационарные состояния описывались при помощи обыкновенной «классической» механики, причем энергия, момент количества движения и другие постоянные движения фиксировались при помощи определенных «квантовых условий», в к-рых фигурировали целые «квантовые» числа. Что же касается переходных движений, то они совершенно не описывались и обычно трактовались как мгновенные «перескоки» от одного квантового состояния к другому. При этом рассматривались лишь перескоки, связанные с испусканием или поглощением монохроматич. света, т. е. света определенной частоты колебаний ν. Согласно основной формуле Планка эта частота определяется соотношением $\nu = \frac{W' - W''}{h}$, где W' и W'' — энергии начального и конечного состояний, а $h = 6{,}55 \cdot 10^{-27}$ эрг/ск.—постоянная Планка. Эта формула в связи с представлением Бора о квантовых стационарных состояниях дала возможность расшифровать закономерности в строении спектров атомов и молекул и на основании этих спектров определить энергию, а также другие константы движения, характеризующие их стационарные состояния.

Переходные движения делились на два типа: 1) самопроизвольные (или «спонтанные»), сопровождающиеся испусканием света, т. е. уменьшением энергии атома, и 2) вынужденные, могущие сопровождаться как испусканием, так и поглощением света $\left(\text{по формуле } \nu = \frac{W' - W''}{h}\right)$. Первые представляли собой своего рода уступку классич. электродинамике, согласно к-рой движение электронов в атоме должно было сопровождаться непрерывным излучением энергии. Последнее заменялось в теории Бора рядом перескоков вниз по энергетической лестнице через одну или сразу через несколько ступеней, и, лишь достигнув наинизшей ступени, соответствующей «нормальному» состоянию, атом успокаивался и переставал излучать. Однако из нормального состояния он мог перейти в одно из высших или «возбужденных» состояний под действием света надлежащей частоты колебаний.

Существенно отметить то обстоятельство, что теория Бора не только не описывала переходных движений, но не давала никакой возможности установить причину или момент их наступления или окончания. Это обстоятельство ощущалось многими физиками как неполнота теории Бора. Лишь в 1917 г. Эйнштейн предложил отрешиться от попыток более подробного описания переходных движений и удовлетвориться боровской схемой, дополнив ее представлением о вероятности наступления того или иного перехода в единицу времени.

Эта идея в настоящее время получила дальнейшее развитие в новой М. к. Сущность ее сводится, с известной точки зрения, к отрешению от обычных представлений о движении не только в случае движений «переходных», но и в случае движений «стационарных», т. е. следовательно в случае вообще всякого вида движений, и к замене этих представлений, связанных с точным

пространственно-временным описанием соответствующего движения, нек-рой вероятной схемой последнего. Для лучшего уяснения смысла этой схемы рассмотрим сначала вкратце применение ее к переходным движениям. Представим себе атом, находящийся в начальный момент в некотором n-ом стационарном состоянии и подверженный действию излучения. В течение ближайшей единицы времени атом может перескочить в любое другое m-ое стационарное состояние как с поглощением, так, вообще говоря, и с испусканием света. Точно указать, в какое именно состояние атом перескочит и когда именно это случится, принципиально невозможно. Задача физической теории сводится только к определению вероятности различных мыслимых переходов $n \to m$, спонтанных или же вызванных излучением. Эти вероятности могут быть определены и экспериментальным путем, если рассматривать не один атом, а множество одинаковых атомов или же множество экземпляров одного и того же атома, находящихся в начальный момент $t=0$ в одном и том же n-ом состоянии. Вероятность перехода $n \to m$ за данное время может быть при этом измерена относительным числом атомов (или экземпляров), перешедших за это время в состояние m.

Совершенно аналогичным образом трактуются в новой М. к. стационарные и всякие другие движения. Вместо того чтобы определить ход движения, т. е. описывать непрерывное изменение характеризующих его динамич. величин (координат, скоростей, сил и т. д.) во времени, как это делала или, вернее, пыталась делать старая механика и теория Бора, новая М. к. ставит себе задачу об определении вероятности того или иного состояния, т. е. тех или иных значений динамич. величин, характеризующих это состояние в функции времени. При этом предполагается, что одному и тому же начальному состоянию могут соответствовать, вообще говоря, любые конечные состояния. Это предположение находится на первый взгляд в полном противоречии со всеми нашими представлениями о детерминизме физических явлений как об однозначной определенности следствий причинами или конечного состояния начальным. Рассматриваемое противоречие смягчается однако тем обстоятельством, что новая М. к. исключает возможность точной характеристики состояний в том смысле, как это делается старой механикой. Так например, исследуя движение материальной частицы, напр. электрона, в данном «внешнем» силовом поле (напр. вокруг положительного ядра атома), старая механика фиксирует состояние частицы заданием шести величин: трех координат частицы x, y, z и трех проекций ее скорости v_x, v_y, v_z для некоторого начального момента времени $t=0$. При этом путем интегрирования уравнений движения оказывается возможным точно определить значения этих величин для любого последующего или предыдущего момента времени. Таким образом вероятность состояния, определяемого этими значениями, при данном исходном состоянии оказывается равной единице (вероятность «1» означает достоверность), а вероятность всякого другого значения — равной нулю (невозможность).

Если М. к. не знает этих двух крайностей — достоверности и невозможности — и считает все конечные состояния возможными (хотя и не одинаково вероятными) при одном и том же начальном состоянии, то это по крайней мере отчасти объясняется тем, что рассматриваемые «состояния» (как начальное, так и конечное) фиксируются ею не вполне определенным образом. Этот принцип неопределенности (в характеристике состояний), впервые вскрытый Гейзенбергом в 1927 г. (уже после формулировки основных законов М. к.), может быть формулирован в простейшем случае следующим образом: чем точнее фиксируется положение материальной частицы, тем менее точно может быть определена ее скорость, и, наоборот: чем точнее фиксируется скорость частицы, тем менее точно м. б. определено ее положение. В своем обосновании принципа неопределенности Гейзенберг исходил из анализа экспериментальных условий, в к-рых происходит наблюдение движения материальных частиц. При этом он отметил тот факт, что всякое наблюдение частицы, имеющее целью определение ее положения, неизбежно связано с нек-рым воздействием на нее (например воздействием света, если наблюдение осуществляется визуально), к-рое вызывает неконтролируемое изменение скорости частицы в момент наблюдения; аналогичным образом воздействие, требуемое для измерения скорости, неизбежно вызывает неконтролируемое изменение положения.

Естественно возникает вопрос: если дело обстоит таким образом, то почему же физики этого раньше не замечали? Ответ весьма прост: раньше физики занимались изучением макроскопических явлений, в к-рых участвуют большие количества материи и энергии; принцип же неопределенности, формулированный выше, дает себя чувствовать лишь в том случае, когда имеют дело с чрезвычайно маленькими частицами — электронами, атомами или молекулами. Можно показать, что степень неопределенности, вкрадывающаяся в совместное определение положения и скорости какой-нибудь частицы, тем больше, чем меньше ее масса. При обычных массах она совершенно ничтожна, в случае же очень маленьких масс (масса электрона) она становится весьма значительной. Если напр. координата x частицы измеряется с точностью Δx (т. е. заключена между x и $x+\Delta x$), то неконтролируемое изменение в скорости v_x частицы, по оси X, вызываемое измерением x, лежит (приблизительно) в пределах $\Delta v_x = \frac{h}{m} \cdot \frac{1}{\Delta x}$, так что $\Delta x \cdot \Delta v_x = \frac{h}{m}$. Здесь h обозначает постоянную Планка, m — массу частицы. Для электрона $m = 9 \cdot 10^{-28}$ $г$, и следовательно $\Delta x \cdot \Delta v_x \cong 1$, между тем как для частицы с массой в 1 $г$ $\Delta x \cdot \Delta v_x \cong 10^{-27}$.

Величины, которые нельзя одновременно точно измерить, называются (канонически) сопряженными. Подобную сопряженную пару образуют между прочим энергия и время. Отсюда следует, что, фиксируя энергию атома в каком-нибудь стационарном состоянии, мы тем самым лишаемся воз-

можности говорить о времени, к к-рому относится то или иное положение электронов в атоме или, другими словами,—о конфигурации этих электронов в данный момент времени.

Итак, задача М. к. как учения о поведении элементарных частиц материи заключается в определении вероятности тех или иных состояний или событий в мире этих частиц, т. е. тех или иных значений величин, характеризующих эти состояния или события, при определенных значениях других величин, к-рые могут быть одновременно измеренными, и характеризующих условия, при к-рых исследуется рассматриваемая система частиц. Решение этой задачи было найдено еще до того, как она была правильно поставлена, и притом двумя совершенно различными путями. По одному пути, проложенному Бором, к этому решению, в несколько схематической форме, пришел Гейзенберг, отчасти в сотрудничестве с Бором и Иорданом. По другому пути, который был намечен еще в 1905 г. Эйнштейном, к нему пришли де-Бройль и Шредингер. Этот последний путь на первый взгляд не имеет ничего общего с рассматриваемой проблемой и относится к совершенно другой стороне квантовых явлений, которой в теории Бора уделялось очень мало внимания,—именно к вопросу о природе излучения, испускаемого (или поглощаемого) атомами при переходе из одного состояния в другое. Тот факт, что испускание и поглощение света осуществляется не непрерывным образом, а в виде отдельных «актов», был установлен Планком еще в 1900 году. Планк же установил основное соотношение $\varepsilon = h\nu$ между энергией $\varepsilon = W' - W''$, теряемой (или приобретаемой) атомом, и частотой ν—испускаемого (или поглощаемого) света. Сосредоточив свое внимание на атомах, Бор вывел отсюда свое представление о существовании прерывного ряда стационарных состояний. Эйнштейн же, сосредоточив свое внимание на испускаемом или поглощаемом свете, пришел к мысли о прерывной корпускулярной структуре последнего. Таким образом Эйнштейн вновь возродил ньютоновскую теорию света как потока частиц особой «световой субстанции». При этом однако для характеристики этих частиц Эйнштейн исходил уже не из ньютоновской механики, а из им же самим (в том же 1905 г.) установленной механики, теории относительности, в которой масса какой-либо частицы не является постоянной величиной, но зависит от скорости v ее движения по отношению к наблюдателю по формуле $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, где m_0 — так называемая «покоящаяся» масса (при $v=0$), а c—скорость света. Для «световых» частиц, движущихся по определению со скоростью $v = c$, масса m может иметь конечное значение только в том случае, если «покоящаяся» масса m_0 равна нулю. Этим свойством, с точки зрения теории Эйнштейна, отличаются световые частицы, или кванты, от частиц обыкновенной материи (для которых $m_0 > 0$). Отсюда следует, что световые частицы имеют эфемерное существование, ограничивающееся временем их полета от одного атома, к-рым они испускаются, до другого атома, к-рым они поглощаются; в первом они «рождаются» за счет его энергии, а во втором погибают, превращаясь в его энергию.

Согласно эйнштейновской механике, частица массы m обладает (собственной) энергией $\varepsilon = mc^2$ и количеством движения $g = mv$. В случае световых квантов, $v = c$ и $g = mc$, т. е. $g = \frac{\varepsilon}{c}$. Полагая, по Планку, $\varepsilon = h\nu$ и принимая во внимание, что $c = \nu\lambda$, где λ— длина волны света (с точки зрения волновой теории), мы получаем $g = \frac{h}{\lambda}$, или, заменяя длину волны волновым числом $k = \frac{1}{\lambda}$, равным числу волн в 1 *см*, подобно тому как $\nu = \frac{1}{T}$ равно числу периодов в 1 *сек.*, мы получаем соотношения:

$$\varepsilon = h \cdot \nu \quad \text{и} \quad g = h \cdot k. \qquad (1)$$

Второй особенностью эйнштейновской теории света, отличающей ее от теории Ньютона и непосредственно выраженной в предыдущих соотношениях, является неразрывная связь корпускулярных представлений с волновыми. Введя представление о световых лучах как о потоке световых квантов, Эйнштейн отнюдь не отбросил прежнего представления о них как о линиях распространения световых волн, но пытался трактовать оба представления как два различных аспекта одного и того же физического явления. При этом соотношения (1), характеризующие «качество» света (т. е. частоту колебаний, или длину волны, с волновой точки зрения, и энергию, или количество движения квантов, с корпускулярной), были дополнены им следующим вполне естественным соотношением, характеризующим «количество», или интенсивность, света: концентрация световых квантов, т. е. число их n в единице объема, пропорциональна квадрату амплитуды ψ_0 световых колебаний в соответственной точке:

$$n \sim \psi_0^2. \qquad (2)$$

Двойственность представлений, введенную А. Эйнштейном в учение о свете, долгое время тщетно пытались устранить. Если такие явления «классической» оптики, как *интерференция* (см.) и *дифракция* (см.) света, находились в противоречии с корпускулярным представлением о свете, то ряд новооткрытых явлений, как например фотоэлектрический эффект, эффект Комптона (см. *Рассеяние света*) и т. д. находились в совершенном противоречии с волновым представлением и, наоборот, весьма естественным образом интерпретировались с точки зрения корпускулярной теории, и только через 20 лет после появления ее Л. де-Бройль в 1925 году впервые понял, что корпускулярно-волновой дуализм, введенный А. Эйнштейном в учение о свете, неустраним, что он является новым фундаментальным принципом физики и что он должен относиться не только к свету, но равным образом и к обыкновенной материи.

Простейшими элементами материи являются электроны. В свободном состоянии электроны наблюдаются в виде катодных лучей

(см. *Лучи корпускулярные*). Со времени их открытия в конце 90-х годов и вплоть до 1925 года катодные лучи трактовались как корпускулярное явление, т. е. как поток частиц, летящих от катода (отрицательного полюса) разреженной трубки. Де-Бройль дополнил это корпускулярное представление волновым, предложив рассматривать катодные лучи как особого рода волны, аналогичные световым, и связав частоту ν и длину $\lambda=\frac{1}{k}$ этих «катодных волн» с энергией $\varepsilon=mc^2$ и количеством движения $g=mv$ соответствующих частиц (электронов) теми же самыми соотношениями (1), к-рые были установлены Планком и Эйнштейном для света. Определяя произведение $\nu\lambda=w$ как скорость распространения катодных волн, мы получаем для нее формулу $w=\frac{c^2}{v}$. Таким образом волновая скорость оказывается обратно пропорциональной корпускулярной. Длина волны катодных лучей, вычисленная по формуле де-Бройля $\lambda=\frac{h}{mv}$, для лучей, обычно применяемых на практике, оказывается такого же порядка величиной, как и для рентгеновых лучей. Отсюда естественно было ожидать, что при отражении катодных лучей от кристаллов или прохождении их через очень тонкие пленки кристаллич. или микрокристаллич. вещества должны получаться такие же интерференционные и диффракционные явления, как и в случае рентгеновых лучей. Это предсказание теории блестяще подтвердилось в опытах Дэвисона и Джермера, Г. П. Томсона, Е. Руппа и др. В частности Руппу удалось наблюдать диффракцию катодных лучей от обыкновенной оптич. диффракционной решетки, причем измеренная им длина волны в точности совпадала с теоретической. Заметим, что скорость катодных лучей v м. б. вычислена из разности потенциалов V, примененной для их ускорения, по ф-ле: кинетическая энергия

$$c^2\cdot m-c^2\cdot m_0=c^2\cdot m_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}-1\right)=e\cdot V,$$

где e—заряд электрона. В случае не слишком быстрых катодных лучей (v мало в сравнении с c) точное релятивистское выражение для кинетической энергии можно заменить обычным $\frac{1}{2}mv^2$, что дает $(mv)^2=2meV$, и следовательно

$$\lambda=\frac{h}{\sqrt{2meV}}.$$

Выражая V в вольтах, а λ в ангстремах, получаем:

$$\lambda=\frac{1{,}1}{\sqrt{V}}.$$

Предыдущая формула представляет собой частный случай связи между длиной катодных волн и потенциальной энергией соответствующих частиц. Обозначая через W полную энергию одной из частиц, а через $U(x, y, z)$—потенциальную энергию ее в точке (x, y, z), имеем $\frac{mv^2}{2}=W-U$ и так. обр.

$$\frac{1}{\lambda^2}=\frac{2m}{h^2}[W-U(x, y, z)]. \qquad (3)$$

Распространение световых волн в какой-нибудь прозрачной среде определяется дифференциальным ур-ием:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}-\frac{1}{w^2}\cdot\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}=0, \qquad (4)$$

где ψ представляет собой колеблющуюся величину (напр. электрическое напряжение), а w—скорость распространения волн в данном месте. В случае монохроматич. колебаний зависимость ψ от времени выражается множителем $e^{-i2\pi\nu t}$ (или $\cos 2\pi\nu t$, или же $\sin 2\pi\nu t$), так что $\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}=-4\pi^2\nu^2\psi$. Замечая, что $\frac{\nu}{w}=\frac{1}{\lambda}$, получаем в этом случае вместо (4):

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}+\frac{4\pi^2}{\lambda^2}\psi=0. \qquad (5)$$

Это «волновое» ур-ие, установленное для световых волн, было по аналогии распространено Шрёдингером в 1926 г. на волны де-Бройля. Подставляя в (5) выражение (3) для длины их как функции координат, получаем таким образом основное ур-ие Шредингера:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}+\frac{8\pi^2m}{h^2}(W-U)\psi=0. \qquad (6)$$

Вопрос о физич. смысле волновой функции ψ, фигурирующей в этом ур-ии, был выяснен несколько позднее Борном. По аналогии с соотношением (2) для световых волн можно было бы рассматривать квадрат амплитуды колебаний, т. е. квадрат абсолютного значения (модуля) ψ, как меру числа электронов в единице объема вблизи данной точки. Эта интерпретация вполне естественна в том случае, когда ур-ие (6) применяется к б. или м. интенсивным катодным лучам, т. е. к большому числу электронов, при условии конечно, чтобы действием их друг на друга можно было пренебречь, ибо потенциальная энергия $U(x, y, z)$ характеризует лишь действие внешних сил на электрон, находящийся в точке (x, y, z). По существу однако ур-ие (6) д. б. применимо и к предельному случаю «одного катодного луча», образованного движением одного электрона в заданном внешнем силовом поле. В этом случае величину $|\psi|^2$, т. е. квадрат модуля функции ψ, следует трактовать, согласно Борну, как меру вероятности нахождения электрона в соответствующей точке. В случае большого числа экземпляров электрона, не действующих друг на друга, относительное число электронов в объеме $dV=dx\cdot dy\cdot dz$ должно быть пропорционально вероятности $|\psi|^2dV$ нахождения одного из них в этом объеме. С этой точки зрения в о л н ы м а т е р и и оказались в о л н а м и в е р о я т н о с т и. Вместе с тем оказался решенным и вопрос о фактич. определении вероятности, по крайней мере в простейшем частном случае, к к-рому относится шредингеровское ур-ие (6), т. е. в случае движения одной частицы с постоянной энергией в постоянном (не зависящем от времени) силовом поле.

Решения ур-ия (6) имеют вид:

$$\psi=\psi^0(x, y, z)\cdot e^{i2\pi\nu t}, \qquad (7)$$

где частота $\nu=\frac{m_0c^2+W}{h}$ представляет собой «волновую» меру энергии движения (в слу-

чае покоящейся частицы эта энергия сводится к постоянной $m_0 \cdot c^2$). Вероятность, или, вернее, «объемная плотность» вероятности $|\psi|^2 = |\psi^0|^2$, не зависит следовательно от времени. То обстоятельство, что время не входит в характеристику движения, непосредственно связано с точным определением энергии последнего. Во многих случаях ур-ие (6) допускает регулярные решения, т. е. такие решения, для к-рых функция ψ остается конечной, однозначной и непрерывной для всех значений x, y, z, лишь при определенных дискретных значениях энергии W. Эти дискретные значения (образующие бесконечный ряд) или, вернее, связанные с ними функции ψ, и соответствуют «стационарным движениям» или «квантованным состояниям» теории Бора. В других случаях значения W и ф-ии ψ образуют непрерывный ряд, соответствующий ряду движений непериодического характера, которые в теории Бора вовсе не рассматривались. Так напр., в случае электрона, тяготеющего к неподвижному положительному заряду с потенциальной энергией $U = -\frac{Ze^2}{r}$ (r—расстояние и Z—атомный номер), квантованным эллиптическим движениям соответствует дискретный ряд энергий: $W_n = -\frac{2\pi^2 \cdot Z^2 \cdot e^4 \cdot m}{h^2 \cdot n^2}$ ($n = 1, 2, 3, \ldots$—«главное квантовое число») с волновыми ф-иями вида:

$$\psi^0 = f_{n-1}(r) \cdot e^{-\frac{r}{an}} \cdot y_e(\theta, \varphi),$$

[f_{n-1}—полином $(n-1)$-й степени, $a = \frac{h^2}{4\pi^2 Ze^2 n}$ — радиус первой квантовой орбиты теории Бора, а $y_e(\theta, \varphi)$—шаровая ф-ия l-го порядка ($l = 0, 1, \ldots, n-1$) от углов θ и φ, определяющих направление радиуса-вектора r]. Гиперболическим движениям электрона соответствует непрерывный ряд энергий W от 0 до ∞, с непрерывным рядом ф-ий ψ, изображающих (на больших расстояниях) стоячие шаровые волны определенной длины.

К важнейшим обобщениям и дополнениям предыдущих результатов относятся: а) Н е с т а ц и о н а р н ы е п р о ц е с с ы. Если в уравнении (6) заменить множитель W при ψ эквивалентным ему в виду (7) оператором $\frac{h}{2\pi i} \cdot \frac{\partial}{\partial t}$, то оно приобретает вид:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} - \frac{4\pi i m}{h} \cdot \frac{\partial\psi}{\partial t} - \frac{8\pi^2 m}{h^2} U\psi = 0. \quad (8)$$

Это уравнение представляет собой непосредственное обобщение ур-ия Шредингера (6), применимое к случаю движения частицы в переменном силовом поле (зависящем от времени). Отметим, что это ур-ие по своей форме существенно отличается от обобщенного волнового уравнения (4). В частном случае постоянного силового поля общее решение ур-ия (8) имеет вид:

$$\psi = \sum_n c_n \psi_n, \quad (9)$$

где ψ_n—частные решения вида (7), т. е. вида:

$$\psi_n = \psi_n^0(x, y, z) \cdot e^{\frac{i2\pi}{h}(m_0c^2 + W_n)t}.$$

Коэфициенты c_n в (9) характеризуют относительные вероятности соответствующих стационарных состояний. Нормируя ф-ии ψ_n согласно условию $\int |\psi_n|^2 \, dV = 1$, мы получаем в силу свойства «ортогональности» этих ф-ий (ортогональность ф-ий ψ_n и ψ_m выражается равенством нулю интеграла $\int \psi_n \psi_m \, dV$)

$$\int |\psi|^2 \, dV = \sum |c_n|^2.$$

Т. о. при условии $\sum |c_n|^2 = 1$, величину $|c_n|^2$ можно трактовать как вероятность n-го состояния (при любом положении частицы).

Квадрат модуля ψ получается умножением этой ф-ии на величину, с ней комплексно сопряженную $\bar{\psi}$, т. е. получающуюся из нее заменой $i = \sqrt{-1}$ на $-i$. Имеем следовательно:

$$|\psi|^2 = \sum_n |c_n|^2 |\psi_n|^2 + \sum_{n \neq m} \sum_m c_n c_m \psi_n^0 \bar{\psi}_m^0 e^{\frac{i2\pi W_n - W_m}{h} t}. \quad (10)$$

Т. о. «плотность вероятности» слагается в рассматриваемом случае из ряда постоянных членов и из двойного ряда членов, гармонически колеблющихся с частотами:

$$\nu_{n,m} = \frac{W_n - W_m}{h}. \quad (11)$$

Согласно теории Бора этой ф-лой выражается частота света, испускаемого или поглощаемого электроном (атомом) при переходе из n-го состояния в m-е (или наоборот). С волновой же точки зрения $\nu_{n,m}$ представляет собой как бы частоту «биений» между n-м и m-м колебаниями при одновременном их «звучании». Исходя из этого обстоятельства, Шредингер попытался восстановить классич. (волновую) теорию испускания и поглощения света, заменив точечный электрон волновым электроном, электрич. заряд которого распределен в пространстве с объемной плотностью, пропорциональной $|\psi|^2 = \psi\bar{\psi}$. Эта точка зрения не может считаться вполне правильной; однако в известных пределах она позволяет весьма просто интерпретировать квантовые законы излучения. Прежде всего из нее непосредственно следует, что, находясь в определенном стационарном состоянии, электрон не может давать излучения, т. к. при этом он эквивалентен объемному электрич.. заряду с постоянной во времени плотностью. Далее интенсивность излучения, испускаемого при суперпозиции двух колебаний, соответствующих двум разным стационарным состояниям n и m, оказывается пропорциональной сумме квадратов модулей величин

$$x_{n,m} = \int x \psi_n \psi_m \, dV \text{ и т. д.} \quad (12)$$

Этот результат приводит в простейших случаях к «правилам отбора», найденным полуэмпирич. образом в теории Бора. Величины типа (12) называются м а т р и ч н ы м и элементами (или компонентами) величины x по отношению к рассматриваемым состояниям. Совокупность этих элементов образует м а т р и ц у, заменяющую в М. к. «классическую» величину x.

Гейзенбергу удалось формулировать законы М. к. независимо от Шредингера и несколько ранее последнего, совершенно не вводя волновой функции и пользуясь исключительно матричными элементами различных величин. Заметим, что с корпускуляр-

ной точки зрения одновременное осуществление двух различных стационарных состояний с разными энергиями (W_n и W_m) представляется немыслимым. Соответственно этому испускание света частоты $\nu_{n,m}$ должно трактоваться ею как результат перехода из n-го состояния в m-е (или наоборот). Матричные элементы $x_{n,m}$ или, вернее, квадраты их абсолютн. значений являются с этой точки зрения мерой вероятности подобных переходов. Что касается вынужденных переходов, связанных с поглощением или испусканием света или же с какими-нибудь другими возмущающими действиями, то их вероятность определяется квадратом абсолютных значений матричных элементов той дополнительной энергии, к-рою характеризуется это возмущение, по отношению к соответствующим невозмущенным состояниям (или. вернее, волновым функциям, их характеризующим). При $n=m$ матричные элементы представляют собой среднее значение соответствующей величины в состоянии $n=m$.

б) Переход к обычной (классической) механике. Предыдущие результаты относятся не только к элементарным частицам материи—электронам, но и к сколь-угодно сложным частицам, поскольку можно отвлечься от их внутреннего строения и трактовать их как материальные точки с определенной массой m. Поведение системы подобных «точек» характеризуется уравнением:

$$\left\{\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{2m_k}\left(\frac{h}{2\pi i}\right)^2\left[\frac{\partial^2}{\partial x_k^2}+\frac{\partial^2}{\partial y_k^2}+\frac{\partial^2}{\partial z_k^2}\right]+\right.$$

$$\left.+U\left(x_1,y_1,z_1,\ldots,x_n,y_n,z_n-\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial t}\right)\right\}\psi=0. \quad (13)$$

Если положить в нем

$$\psi=e^{-i\frac{2\pi S}{h}}, \quad (14)$$

то оно приобретает вид:

$$-\sum_{k=1}^{n}\frac{h}{4\pi i m_k}\left(\frac{\partial^2 S}{\partial x_k^2}+\frac{\partial^2 S}{\partial y_k^2}+\frac{\partial^2 S}{\partial z_k^2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{2m_k}\left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_k}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial y_k}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial z_k}\right)^2\right]+\frac{\partial S}{\partial t}+U=0. \quad (15)$$

Если для всех рассматриваемых частиц отношение $\frac{h}{m_k}$ очень мало, как это имеет место для частиц обыкновенной материи, то первой суммой в левой части предыдущего уравнения можно пренебречь. При этом оно сводится к известному дифференциальному ур-ию Гамильтона-Якоби:

$$\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{2m_k}\left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_k}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial y_k}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial z_k}\right)^2\right]+\frac{\partial S}{\partial t}+U=0, \quad (16)$$

в к-ром ф-ия S представляет собой т. н. «действие». Это уравнение описывает движение множества экземпляров рассматриваемой системы в координатном пространстве $x_1, \ldots, z_n$; при этом «плотность» множества (соответствующая вероятности $|\psi|^2$) не играет существенной роли, т. к. из него всегда оказывается возможным выделить один определенный экземпляр и проследить за его движением с помощью соотношений:

$$m_k\frac{dx_k}{dt}=\frac{\partial S}{\partial x_k},\quad m_k\frac{dy_k}{dt}=\frac{\partial S}{\partial y_k},\quad m_k\frac{dz_k}{dt}=\frac{\partial S}{\partial z_k}, \quad (17)$$

определяющих скорости частиц данной системы в произвольно избранной ее конфигурации. В случае ур-ия (15) подобное точное определение скорости при данной конфигурации оказывается невозможным, причем мерой неопределенности является для каждой частицы отношение $\frac{h}{m_k}$ (ср. Гейзенберговский «принцип неопределенности»). Поэтому оказывается невозможным и выделение одного какого-либо экземпляра из всего континуума,—и, вместо того чтобы следить за движением подобного экземпляра, мы оказываемся вынужденными ограничиться определением относительного числа экземпляров, находящихся в заданной конфигурации, т. е., другими словами, вероятности этой конфигурации $|\psi|^2$. Что касается скоростей, то им соответствуют в волновой механике «операторы»

$$v_{k,x}=\frac{p_{k,x}}{m_k}=\frac{h}{2\pi i m_k}\frac{\partial}{\partial x_n},\quad \frac{p_{ky}}{m_k}=\frac{h}{2\pi i m_k}\frac{\partial}{\partial y_k},\ \ldots,$$

определяющие «вероятные значения» этих скоростей («математические ожидания») по формулам:

$$v_{k,x}=\int\ldots\int\psi\,(v_{kx}\,\psi)\,dv_1\ldots dv_n. \quad (18)$$

Аналогичными формулами определяются вероятные значения всех других динамическ. величин, характеризующих рассматриваемую систему. Все эти величины представляются в волновой механике, вообще говоря, дифференциальными операторами (напр. оператор энергии); в частном случае операторов «нулевого порядка» получаются простые множители при ψ (как напр. в случае координат или потенциальной энергии).

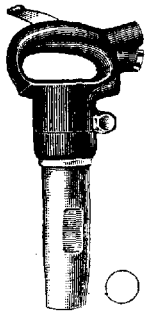
Лит.: Гааз А., Волны материи и квантовая механика, пер. с 2 нем. изд., М.—Л., 1930; Шредингер Э., Принципы волновой механики, «УФН», М.—Л., 1928, т. 8; Дарроу, Волновая механика, там же, 1929, т. 9; Гааз А., Основания квантовой химии, перевод с нем., М.—Л., 1930; Иордан П., Гипотеза световых квантов, «УФН», М.—Л., 1930, т. 10; Френкель Я., Происхождение и развитие волновой механики, «Природа», Л., 1930, январь; Frenkel J., Einführung in die Wellenmechanik, B., 1929; Sommerfeld A., Wellenmechanischer Ergänzungsband zum «Atombau und Spektrallinien», Braunschweig, 1928; Born M. u. Jordan P., Elementare Quantenmechanik, Berlin, 1930; Thirring H. und Halpern O., Prinzipien der Wellenmechanik. «Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften», Berlin, 1928, B. 7, 1929, B. 8; Jordan P., Die Lichtquantenhypothese, «Ergebnisse d. exakten Naturwissenschaften», Berlin, 1928; de Broglie L., Introduction à la méchanique ondulatoire, 1929; Weyl H., Gruppentheorie u. Quantenmechanik, Lpz., 1928; Heisenberg W., Die physikalischen Prinzipien d. Quantentheorie, Leipzig, 1930; Dirac P. A., Quantenmechanik, Leipzig. 1930.

Я. Френкель.

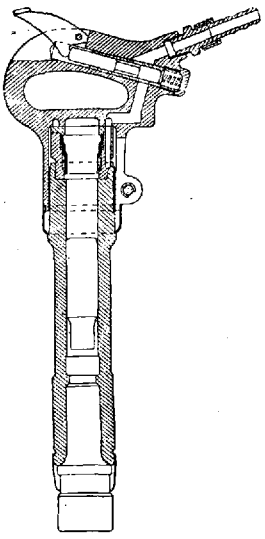
МЕХАНИКА ПРИКЛАДНАЯ, наука о машинах, механизмах и сооружениях, основанная на принципах теоретической механики. Задача М. п. в этом более узком смысле состоит в том, чтобы предсказать, как будет происходить то или другое движение части механизма или машины, какие пути будут описывать их отдельные точки и как велики будут у них скорости и ускорения. На основании полученных величин можно сделать заключение о тех силах, к-рые необходимы, чтобы увеличить или уменьшить кинетич. энергию механизма или машины. Если присоединить сюда еще исследование влияния внешних сил, ускоряющих или задерживающих движение той или другой части машины, то тем самым будет дан первый очерк явлений,

с которым имеет дело М. п. в том объеме, какой подразумевается под этим наименованием в СССР. М. п. отличается от теоретической механики по своему методу тем, что в большинстве изучаемых ею вопросов не имеется математически точной зависимости одних величин от других, а потому нельзя применить строгого математического анализа, и приходится довольствоваться графическими построениями с целью дать разрешение поставленной задачи.

За последние 30 лет целый ряд выдающихся ученых (Гартман, Виттенбауер, Толле и др.) дали образцы графич. построений, позволяющих с большой точностью и в то же время с большой простотой и ясностью выявить особенности задач из области М. п. Разберем в виде первого примера те явления, какими сопровождается работа пневматического зубила (фиг. 1 и 2), положив в основание исследования диаграмму (фиг. 3) пути по времени, записанную на быстро вращающемся барабане штифтом, прикрепленным к поршеньку, дви-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

гающемуся в цилиндре под влиянием сжатого воздуха. Диаграмма (s, t) имеет масштабы: по оси ординат 1 *мм*—a *м* и по оси абсцисс 1 *мм*—τ сек. Проводя в точках O, a, b, c, d и h касательные к кривой, получаем соответствующую величину скорости поршенька в *м/сек*:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{a}{\tau} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{a}{\tau} \operatorname{tg} \varphi.$$

Максимальная скорость при подъеме поршенька будет в точке перегиба N кривой. Примем, что эта скорость выражена на диаграмме (фиг. 4) отрезком b *мм*, и построим эту диаграмму, отложив на оси ординат отрезок $O_1C = b$ и проведя через точку C параллель к касательной в точке N к кривой st до пересечения с осью абсцисс в точке O_1'. Из тр-ка $CO_1'O_1$ имеем: $\overline{O_1C} = \overline{O_1'O_1} \operatorname{tg} \varphi$, или $b = k \operatorname{tg} \varphi$, а потому

$$v_{max} = \frac{a}{\tau k} \cdot b \ м/сек.$$

Для любой точки, взятой на диаграмме (s, t), можно провести с достаточной точностью касательную, а через точку O_1' ей параллельную линию. Соответствующая величина скорости для выбранной точки a:

$$v = \frac{a}{\tau k} y_1,$$

где $y_1 = O_1'D = k \operatorname{tg} \varphi_1$.

Соединив вершины ординат y сплошной линией, мы получим диаграмму (v, t), причем масштаб по оси ординат

$$\beta = \frac{a}{\tau k} \ м/сек \text{ в } 1 \ мм.$$

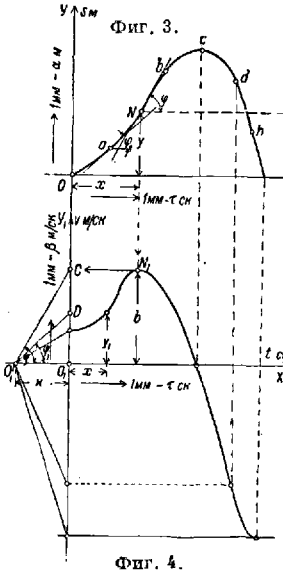
Построим далее диаграмму (v, s) (фиг. 5), соединяя диаграммы (s, t) и (v, t) при помощи вспомогательной линии AB (фиг. 6), проведенной под углом 45° к оси абсцисс; при этом масштабы пути и скоростей остаются прежними. Диаграмма (v, s) дает возможность составить представление об изменении кинетич. энергии поршенька при его подъеме и опускании. Воспользуемся известным выражением

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

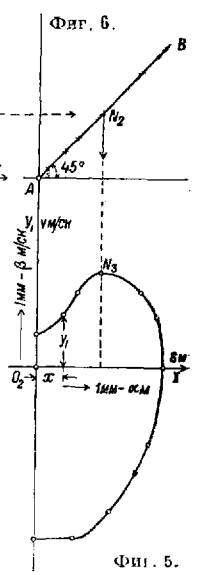
где m—масса поршенька, и заменим скорость v через равную ей величину βy_1:

$$E = \frac{m\beta^2}{2} y_1^2.$$

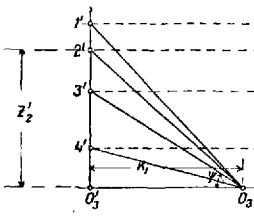
В виду того, что нам предстоит начертить диаграмму (E, s) кинетич. энергии по пути поршенька, необходимо заменить площадь квадрата y_1^2 через площадь равновеликого прямоугольника az, где отрезок a следует выбрать таким образом, чтобы при y_{1max},



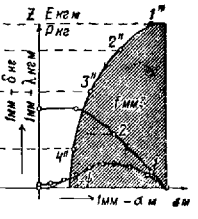
Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 8.



Фиг. 7.

z_{max} был равен величине, удобной для построения диаграммы (E, s):

$$E = \frac{m\beta^2}{2} y_1^2 = \frac{m\beta^2 a}{2} z = \lambda z,$$

где $\lambda = \frac{m\beta^2 a}{2}$ (*кгм* в 1 *мм*)—масштаб кинетической энергии. При помощи вычислений или простых геометрич. построений можно найти величину $z = \frac{y_1^2}{a}$ и построить по точкам диаграмму (E, s) (фиг. 7). Изменение кинетич. энергии на величину dE происходит под влиянием внешней силы P на пути ds. В данном случае сила P получается от сжатого воздуха, поступающего в цилиндр из подводящей трубы, соединенной с компрессором. Так как $dE = P\,ds$, то

$$P = \frac{dE}{ds}$$

или

$$P = \frac{\lambda\, dz}{a\, dx} = \frac{\lambda}{a} \operatorname{tg} \psi,$$

где ψ есть угол, образуемый касательной к кривой (E, s). Для графического построения ординат кривой (P, s) проведем через точку O_3 (фиг. 8), лежащую на оси абсцисс, ряд линий, параллельных к касательным к кривой (E, s), причем построение выполним лишь для той ветви кривой (E, s), которая соответствует обратному ходу поршенька непосредственно перед ударом его о зубило. Проведенные через точку O_3 линии отсекают на вертикали $O'1'$, восставленной перпендикулярно к оси абсцисс, ряд отрезков: $O_3'1'$, $O_3'2'$ и т. д., пропорциональных силам P_1, P_2, ..., так как из прямоугольного треугольника $O_3'2'O_3$ имеем: $O_3'2' = z_2' = k_1 \operatorname{tg} \psi$, следовательно

$$P_2 = \frac{\lambda}{a k_1} z_2',$$

или

$$P_2 = \delta z_2',$$

где $\delta = \frac{\lambda}{a k_1}$ — масштаб сил диаграммы (P, s) (фиг. 7). Отложим полученные отрезки z_1', z_2', ... от оси абсцисс на соответствующих ординатах диаграммы (E, s), затем соединим вершины отрезков линией $1''2''3''4''$; полученная кривая дает зависимость между силой P, ускоряющей поршенек, и пространством, пройденным им от того момента, когда скорость поршенька равнялась нулю. Заштрихованная площадь диаграммы пропорциональна работе и имеет масштаб: 1 *мм*^{2} — $a\delta$ *кгм*. Измерив площадь f в *мм*^{2} и помножив на масштаб, мы получим ту работу $A = fa\delta$ *кгм*, которую поршенек мог бы отдать на перемещение режущей кромки зубила, если бы не было упругих деформаций как самого зубила, так и бойка, в который ударяется поршенек. Указанные упругие деформации, аккумулируя часть работы во время удара, отдают ее обратно бойку, отбрасывая его со скоростью v_0 *м/сек*, причем v_0 можно определить по диаграмме (v, t), а потерянную кинетическую энергию по диаграмме (E, s) или непосредственно по формуле $E = \frac{mv_0^2}{2}$. Проверкой правильности построения диаграмм (E, s) и (P, s) служит равенство:

$$E_{max} = \frac{mv_1^2}{2} = fa\delta,$$

откуда можно получить величину скорости поршенька перед самым ударом

$$v_1 = \sqrt{\frac{2fa\delta}{m}} \text{ м/сек}$$

и сравнить ее с той же скоростью, но полученной из диаграммы (v, t). Если величину dE получить аналитически, диференцируя выражение кинетической энергии $E = \frac{mv^2}{2}$, то можно составить ур-ие:

$$dE = mv\, dv = m \frac{ds}{dt} dv = P\, ds,$$

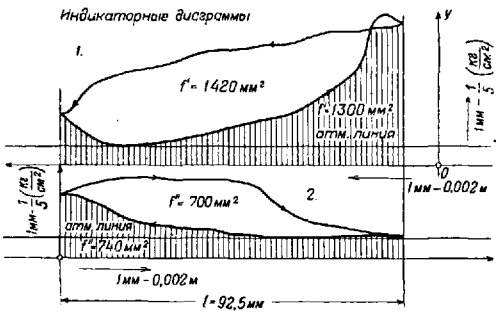
откуда

$$P = m \frac{dv}{dt} = mj;$$

поэтому диаграмма (P, s) дает также и зависимость величины ускорения j поршенька от пути, причем масштаб ускорений

$$\gamma = \frac{\delta}{m} \text{ м/сек}^2 \text{ в 1 мм}.$$

Инж. Гределем были сняты при помощи оптич. индикатора диаграммы давлений воздуха под и над поршеньком. Эти диаграммы (уменьшенные вдвое) даны на фиг. 9: масштабы: по оси ординат: 1 *мм*—$^1/_5$ *кг/см*^{2} и по оси абсцисс: 1 *мм*—0,002 *м*, следовательно 1 *мм*^{2} площади диаграммы представляет работу $4 \cdot 10^{-4} \cdot F$ *кгм*, причем в этом выражении F — площадь поперечного сечения цилиндра в *см*^{2}. Измеряя площади индикаторной диаграммы в *мм*^{2} и помножая полученный результат на $Fa\delta$, мы найдем величину работы, затраченной на получение одного удара. Величина же полученной работы м. б. вычислена по формуле:



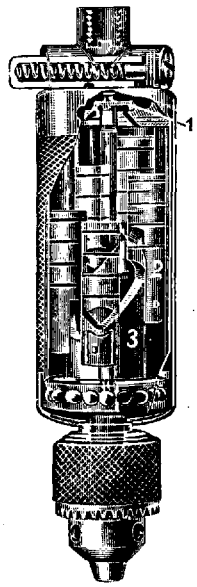
Фиг. 9.

$$E_1 - E_0 = \frac{mv_1^2 - mv_0^2}{2}.$$

Отношение полученной работы к затраченной носит название коэфициента полезного действия η. В данном случае величина η по Гределю равна 0,9.

Вторым примером будет служить сверлилка англ. системы Desoutter. В этом аппарате непрерывное вращательное движение сверла получается в результате возвратно-поступательного движения поршеньков, скользящих в каналах под действием сжатого воздуха, поступающего через гибкую трубу с торца аппарата и распределяющегося надлежащим образом по каналам благодаря вращающемуся диску *1* (фиг. 10). Каждый из поршеньков при своем движении скользит своим нижним концом, отмеченным на той же фиг. 10 цифрой *2*, по краю кулака *3*, заставляя вращаться его ось

по часовой стрелке. Предположим, что для движения поршеньков изобретатель принял гармонич. движение, и найдем профиль верхней кромки кулака *3*, исходя из равномерного вращения сверла. Гармонич. движение, как известно, можно получить, проектируя точку, двигающуюся равномерно по окружности, на диаметр этой окружности. На фиг. 12 представлена косинусоида, описываемая точкой, двигающейся по диам. круга гармонич. движением, причем сам круг двигается равномерно-поступательно в направлении оси абсцисс. Если же при вычерчивании косинусоиды принять ее шаг, отрезок OH, равным окружности кулака *3*, то, вырезав эту косинусоиду из бумаги, мы можем затем навернуть ее на кулак *3* и получить очертание контура, по которому должны скользить поршеньки (фиг. 11). Рассмотрим действие сил, передаваемых от поршенька кулаку *3* и преодолевающих сопротивление на режущей кромке



Фиг. 10.



Фиг. 11.

сверла, а также сопротивление трения на всех поверхностях, где имеется относительное скольжение или трение качения.

Предположим, что на поршенек в его среднем положении давит сжатый воздух с силой P *кг* (фиг. 12); разложим эту силу на две компоненты: на силу Q_1 *кг*, действующую горизонтально, и на силу R_1 *кг*, действующую по нормали к поверхности соприкосновения поршенька с кулаком *3*. При этом разложении силы трения пока не были приняты во внимание. Обозначим силу трения на поверхности соприкосновения поршенька с цилиндром, в к-ром он двигается, через $\mu_1 Q$ *кг*, силу трения между поршеньком и наклонной поверхностью кулака — через $\mu_2 R$ *кг*, а силу трения между опорой кулака *3* и кожухом сверлилки—через $\mu_3 P$ *кг*. Коэфициенты μ_1, μ_2 и μ_3 м. б. заменены величинами: $\operatorname{tg}\varphi_1$, $\operatorname{tg}\varphi_2$, $\operatorname{tg}\varphi_3$, где φ— угол трения. Выбрав подходящий масштаб сил: 1 *мм*—δ *кг*, отложим на фиг. 13 вертикально отрезок $\overline{1,2} = Z_P = \frac{P}{\delta}$ *мм*. Проведем через точку *1* параллель нормали к косинусоиде в точке соприкосновения поршенька с наклонной поверхностью кулака *3*, а через точку *2* — параллель основной линии косинусоиды $\overline{OH}$ и отложим на этих линиях отрезки по 100 *мм*, а под прямым углом к этим отрезкам отложим в точке *5* отрезок $\overline{5,6}$ длиной в 15 *мм* и в точке *3*—отрезок $\overline{3,4}$ длиной в 10 *мм*, что будет соответствовать выбору коэфициента трения

$$\mu_1 = \operatorname{tg}\varphi_1 = 0{,}1 \text{ и } \mu_2 = \operatorname{tg}\varphi_2 = 0{,}15.$$

Проводя линии $\overline{1,6}$ и $\overline{2,4}$, мы получим точку пересечения 7, а через эту точку проведем линию 7,8 параллельно гипотенузе $\overline{7',8'}$ отдельно начерченного на фиг. 14 прямоугольного тр-ка с катетами 100 *мм* и 10 *мм*, что соответствует коэф-ту трения $\mu_3 = \operatorname{tg}\varphi_3 = 0{,}1$. Отрезок $\overline{8,1} = Z_Q$ дает величину горизонтальной силы реакции согласно ф-ле $Q = \delta Z_Q$ *кг*. Предположим, что все коэфициенты трения μ_1, μ_2 и μ_3 одновременно превратились в нуль; тогда силе реакции Q_1 соответствовал бы отрезок $Z_{Q'}$, равный отрезку $\overline{1,10}$, т. к. линия $\overline{9,10}$ пошла бы в этом случае параллельно отрезку Z_P. Вычислим кпд рассматриваемой передачи сил, определив работу полученную и работу затраченную. Полученная работа, отнесенная к 1 ск., м. б. представлена формулой

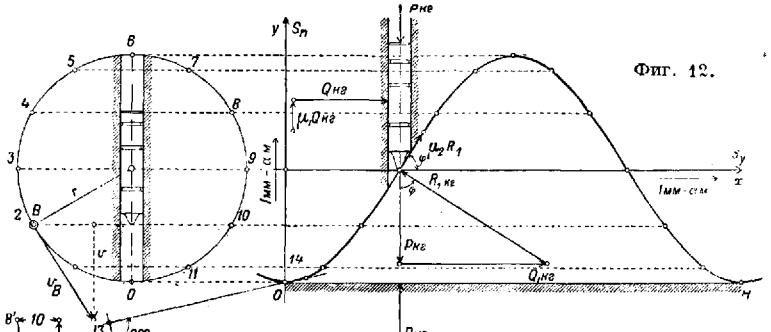
$$A_n = Qw \text{ кгм/ск},$$

а работа затраченная дается формулой

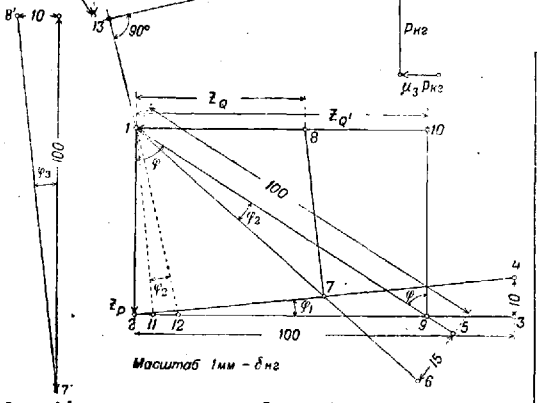
$$A_n = Pv \text{ кгм/ск},$$

где w—окружная скорость точки соприкосновения поршенька и кулака *3*, а v—соответствующая скорость поршенька. Следовательно кпд η будет иметь вид:

$$\eta = \frac{Qw}{Pv} \text{ или } \eta = \frac{Z_Q \cdot w}{Z_P \cdot v};$$



Фиг. 12.



Фиг. 13.

Фиг. 14.

но

$$w = \frac{ds}{dt} = a\frac{dx}{dt} \text{ и } v = \frac{ds_n}{dt} = a\frac{dy}{dt},$$

поэтому

$$\eta = \frac{Z_Q}{Z_P} \cdot \frac{dx}{dy} = \frac{Z_Q}{Z_P} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}\varphi},$$

где

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{dy}{dx},$$

а φ есть угол наклона касательной к косинусоиде, проведенной в точке касания поршенька фасонной поверхностью кулака 3. Этот угол образуют также линии $\overline{1,9}$ и $\overline{1,2}$ на фиг. 13. Следовательно

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Z_{Q'}}{Z_P}, \text{ а потому } \eta = \frac{Z_Q}{Z_P} \cdot \frac{Z_P}{Z_{Q'}} = \frac{Z_Q}{Z_{Q'}}.$$

Кпд в данный момент времени зависит от положения поршенька. При среднем положении поршенька получаем наибольший кпд; для других положений поршенька он будет меньше. Не трудно установить тот наибольший наклон касательной к косинусоиде, при котором кпд передачи делается равным нулю. Т. к. в этом положении $Z_Q = 0$, то проведем через точку 1 линию $\overline{1,11}$ параллельно линии 7,8 и отложим от этой линии угол φ_2, соответствующий углу трения, заключенному между линиями $\overline{1,5}$ и $\overline{1,6}$. Полученная линия $\overline{1,12}$ параллельна нормали в искомой точке косинусоиды, а проводя к линии $\overline{1,12}$ под прямым углом касательную к кривой $\overline{13,14}$, мы получим ту точку 14, в которой $\eta = 0$. Следует наконец отметить, что в действительном приборе все коэфициенты трения — μ_1, μ_2 и в особенности μ_3 — значительно меньше, чем были взяты нами, чтобы сделать построение многоугольника сил более понятным.

Передача вращательного движения между параллельными осями составляет одну из наиболее важных областей М. п. Ограничимся указанием на самые основные, руководящие положения и дадим соответствующие графич. построения. Предположим, что требуется передать вращение от вала O_1 к параллельному с ним валу O_2 так, чтобы отношение их угловых скоростей ω_1 и ω_2 было равно заданной величине. Это отношение м. б. величиной постоянной или переменной. На фиг. 15 представлены две плоскости I и II, перпендикулярные к осям O_1 и O_2 и вращающиеся вместе с ними. Предположим, что обе плоскости ограничены контурами aa и bb и касаются друг друга в точке K, причем нормали в точке соприкосновения должны совпадать друг с другом. Опустим на эту общую нормаль перпендикуляры из геометрич. центров вращения O_1 и O_2 и обозначим точки пересечения этих перпендикуляров с нормалью через M и L. Скорость точки M, $v_M = a \cdot \overline{O_1M} \cdot \omega_1$, а скорость точки L, $v_L = a \cdot \overline{O_2L} \cdot \omega_2$, где a — масштаб чертежа. Основное условие, при котором оба контура, aa и bb, будут иметь точку касания K, состоит в том, чтобы скорости точек M и L, как лежащих на общей нормали, были равны: $v_M = v_L$, или $\overline{O_1M} \cdot \omega_1 = \overline{O_2L} \cdot \omega_2$, откуда

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\overline{O_1M}}{\overline{O_2L}}.$$

Обозначим буквой P точку пересечения общей нормали $\overline{ML}$ и линии $\overline{O_1O_2}$ и, пользуясь подобием тр-ков O_1PM и O_2PL, заменим в основном уравнении отношение $\overline{O_1M} : \overline{O_2L}$ равным ему отношением $\overline{O_1P} : \overline{O_2P}$; тогда

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\overline{O_1P}}{\overline{O_2P}}$$

или

$$\omega_2 \cdot a \cdot \overline{O_2P} = \omega_1 \cdot a \cdot \overline{O_1P} = v_p \text{ м/сек},$$

где v_p — скорость точки P, совмещающей в данный момент как бы две точки: одну, принадлежащую плоскости I, связанной с валом O_1, и другую точку, принадлежащую плоскости II, связанной с валом O_2. Распределение скоростей на линии O_1O_2 может быть представлено на фиг. 16 двумя тр-ками O_1NP и O_2NP с общей стороной $\overline{NP}$, представляющей в масштабе 1 *мм*—β *м/сек* скорость точки P, т. е. v_p. Равенство отношений $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ и $\frac{\overline{O_1P}}{\overline{O_2P}}$ позволяет сделать следующий вывод: закон передачи вращательного движения от вала O_1 к валу O_2 не изменяется с изменением расположения точки касания K на линии ML, причем линия ML может получать самые разнообразные направления, при одном лишь условии: она должна пересекать линию центров O_1O_2 в точке P. Следовательно конструктивное оформление передачи м. б. произведено самым разнообразным образом. Разложим скорость точки P на две компоненты: скорость v'_P вдоль линии ML и скорость v''_P под прямым углом к линии ML. Скорости v'_P будет соответствовать на фиг. 17 отрезок NQ, а скорости v''_P—отрезок QP. Если давать общей нормали различные направления, то вершина вектора NQ, точка Q, будет описывать окружность диаметра, равного NP, как это указано на фиг. 17. Скорость v'_P равна скорости точки M и скорости точки L:

$$v'_P = v_M = v_L,$$

так как эти точки лежат на одной и той же прямой, совпадающей с общей нормалью к контурам в точке соприкосновения. Дадим всем точкам нашей системы скорость равную, но противоположно направленную скорости v'_P. Точки M и L делаются при этом новом движении центрами вращения плоскостей I и II, причем угловые скорости этих плоскостей остаются прежними: ω_1 и ω_2. На фиг. 18 дано построение тр-ка скоростей для линии MK и тр-ка скоростей для линии KL. Скорость точки K, как принадлежащей контуру плоскости I, представлена отрезком RK, а скорость той же точки K как принадлежащей контуру плоскости II, представлена отрезком SK, а так как масштабы скоростей одинаковы (1 *мм*—β *м/сек*), то разность этих отрезков $RK - SK = RS$ пропорциональна относительной скорости скольжения одного контура по другому. Уничтожить это относительное скольжение можно лишь в том случае, если поместить

точку соприкосновения контуров, т. е. точку K, в точку P.

Инж. Бонди предложил изучать трение в зубчатых зацеплениях экспериментальным путем, заменяя действительные зубчатые колеса двумя дисками, представленными на фиг. 19. Радиусы этих дисков соответственно равны MK и KL, а их окружные скорости м. б. получены по ф-ле:

$$v'_K = \omega_1 a\, MK \ м/сек,$$
$$v''_K = \omega_2 a\, LK \ м/сек.$$

Эти диски могут приводиться в движение при помощи двух нормальных зубчатых колес, показанных на фиг. 19 пунктиром. Радиусы этих колес MP и PL, а окружная скорость одна и та же v_P. Если диски будут прижиматься друг к другу той же силой, к-рая передается по нормали от плоскости I к плоскости II, то изнашивание дисков будет происходить так же, как и контуров aa и bb плоскостей I и II. Предположим, что с вала I на вал II передается момент M_I $кгм$; если обозначить силу, передаваемую по нормали к контурам, буквою U, то можно составить следующее уравнение:

$$M_I = U \cdot a \cdot \overline{O_1M},$$

откуда

$$U = \frac{M_1}{a \cdot \overline{O_1M}} \ кг,$$

следовательно сила трения в точке соприкосновения будет иметь величину μU, где μ—коэф. трения, а секундная работа трения м. б. дана ф-лой:

$$A = \mu U (v'_K - v''_K) \ кгм/сек.$$

Эту ф-лу можно упростить, вводя угловую скорость в относительн. движении для плоскости II по отношению к плоскости I. Дадим всей системе вращательное движение относительно вала O_1 с угловой скоростью $(-\omega_1)$; при этом плоскость I сделается неподвижной, а плоскость II будет вращаться в данный момент относительно точки P (полюса мгновенного вращения в относительном движении) с угловой скоростью ω_p. Пользуясь фиг. 20, мы можем составить выражение скорости $a \cdot \overline{O_2W}$ самой оси O_2:

$$v_{O_2} = (-\omega_1) \cdot a \cdot \overline{O_1O_2} = \omega_p \cdot a \cdot PO_2,$$

откуда

$$\omega_p = -\omega_1 \frac{\overline{O_1O_2}}{PO_2}, \text{ но } \overline{O_1O_2} = \overline{O_1P} + \overline{O_2P},$$

следовательно

$$\omega_p = -\omega_1 \left(1 + \frac{\overline{O_1P}}{\overline{O_2P}}\right),$$

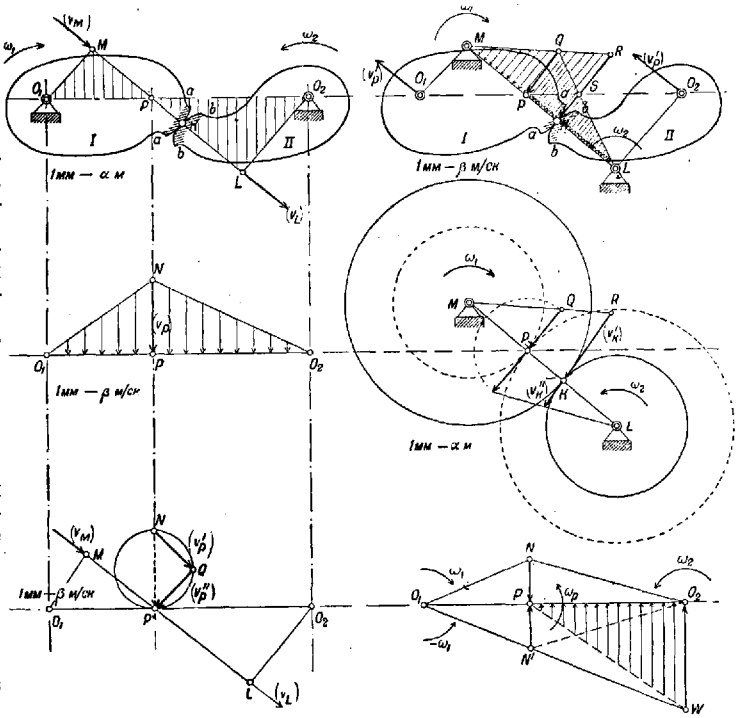
но $\frac{\overline{O_1P}}{\overline{O_2P}} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$, поэтому $\omega_p = -(\omega_1 + \omega_2)$. Скорость относительного скольжения $(v'_K - v''_K)$ равна $a \cdot \overline{PK} \cdot \omega_p$, а потому секундная работа трения выразится так:

$$A = -\mu \cdot U \cdot a \cdot PK \cdot (\omega_1 + \omega_2) \ кгм/сек.$$

Предыдущий анализ движения предполагал вращение параллельных валов O_1 и O_2 в разных направлениях; если же вращение ω_1 и ω_2 д. б. осуществлено в одном направлении, то полюс P выйдет за пределы линии O_1O_2, а угловая скорость ω_p в относительном движении равна разности угловых скоростей ω_1 и ω_2. Поэтому выражение секундной работы трения будет иметь вид:

$$A' = -\mu \cdot U \cdot a \cdot \overline{PK}(\omega_1 - \omega_2) \ кгм/сек.$$

Эта ф-ла показывает, что работа трения в передачах с одноименным вращением меньше (при равенстве всех других условий),



Фиг. 15, 16, 17, 18, 19 и 20.

чем в передачах с разноименным вращением. Рассматривая вращательное движение за длительный промежуток времени, мы можем установить тот факт, что полюс P остается в одной и той же точке на линии $\overline{O_1O_2}$, если отношение скоростей ω_1 и ω_2—величина постоянная. В этом случае геометрич. место точек, принадлежащих плоскости I и плоскости II, последовательно совпадающих при вращении этих плоскостей с полюсом P, дает окружности, описанные радиусом O_1P относительно центра O_1, и радиусом O_2P относительно центра O_2. Если же отношение скоростей ω_1 к ω_2 меняется в зависимости от времени, то полюс P перемещается по линии $\overline{O_1O_2}$, а соответствующие геометрич. места точек плоскости I и II, совпадающих при вращении с полюсом P, образуют сложные кривые и м. б. найдены в большинстве случаев лишь графически.

Рассмотрим случай передачи вращательного движения между параллельными осями

при переменном отношении угловых скоростей, причем примем, что диаграмма изменения ω_1 по времени имеет вид синусоиды, а соответствующее изменение ω_2 по времени дает диаграмму из ряда наклонных линий, как указано на фиг. 21. Расположим диаграммы (ω_1, t) и (ω_2, t) так, чтобы их начало координат совпадало с геометрич. центром вращения оси O_2 и O_1. Масштабы для диаграмм выбираем одинаковыми: 1 *мм*—τ ск. по оси абсцисс и 1 *мм*—σ ск.$^{-1}$ по оси ординат. Проектируя ординаты, соответствующие одному и тому же моменту времени $t=\tau x$, на оси ординат и соединяя полученные точки, мы получим на линии O_1O_2 точку пересечения P, т. к. из основного ур-ия мы будем иметь:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{O_1P}{O_2P},$$

из подобия же треугольников O_1WP_{12} и O_2HP_{12} получим:

$$\frac{O_1P_{12}}{O_2P_{12}} = \frac{O_1W}{O_2H} = \frac{\sigma y_2}{\sigma y_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}.$$

На фиг. 21 построены этим методом точки P_{12} и P_2, причем точка P_{12} служит полюсом для момента времени $t_1=\tau x_1$ и для момента времени $t_3=\tau x_3$ благодаря симметрии диаграмм (ω_1, t) и (ω_2, t). Точки плоскостей *I* и *II*, совпадающие в рассматриваемый момент в точке P_1 на линии O_1O_2, находились за t_1 ск. до этого момента в точках P_1' и P_1''. Эти точки м. б. найдены, во-первых, потому, что они лежат на дугах, описанных из O_1 и O_2 радиусами: O_1P_1 и O_2P_1, а во-вторых, потому, что углы, образуемые линиями O_1P_1' и O_2P_1'' с линией центров O_1O_2, пропорциональны площадям f_1' и f_1'', взятым над абсциссами x_1' и x_1'' на диаграммах (ω_1, t) и (ω_2, t). На основании ур-ия:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

можем определить величину угла

$$\varphi = \int_0^t \omega\, dt,$$

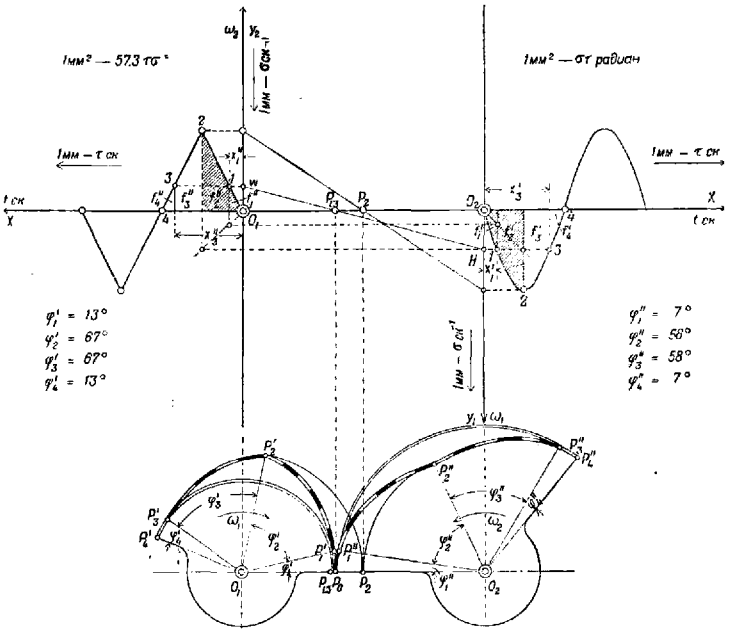
считая, что угол, соответствующий $t=0$, тоже равен нулю; в нашем случае

$$\varphi_1' = \sigma\tau \int_0^{x_1'} y_1\, dx = \sigma\tau f_1' \text{ радиан},$$

$$\varphi_1'' = \sigma\tau \int_0^{x_1''} y_2\, dx = \sigma\tau f'' \quad »$$

Вводя множитель 57,3, мы можем определить углы в градусах. Аналогично указанному определены на фиг. 22 радиусы и углы точек (P_2', P_2'') и (P_3', P_3'') и построено геометрическое место полюсов P в относительном движении. Эти кривые носят название полоид или центроид.

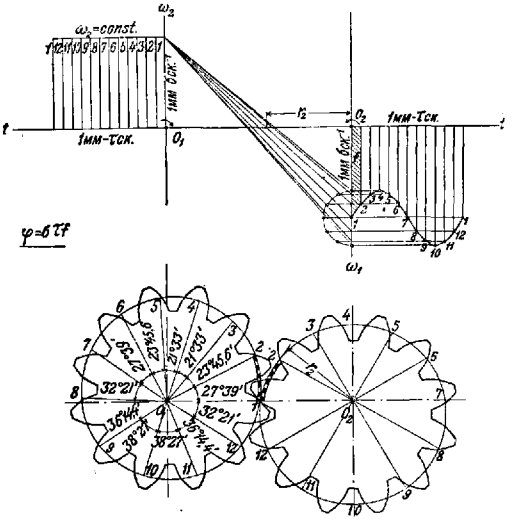
Положение точки P на линии $\overline{O_1O_2}$ при $t=0$ в нашем случае не м. б. построено, так как при этом $y_1 = y_2 = 0$; поэтому можно применить приближенное построение, заключающееся в том, что полученные полоиды $P_2'P_1'$ и $P''P_1''$ продолжают до пересечения с линией $\overline{O_1O_2}$ в одной и той же точке P_0, причем касательная, проведенная к одной полоиде в точке P_0, д. б. касательной и к другой полоиде в той же точке. Основным свойством полоид является то обстоятельство, что движение одной полоиды по другой совершается без скольжения, а это свойство ставит требование, чтобы длина полоиды P_0P_4' была равна длине полоиды P_0P_4''. Полученные полоиды в большинстве случаев не м. б. непосредственно использованы для передачи вращательного движения между параллельными осями. Чтобы создать передачу конструктивно правильной формы, необходимо снабдить полоиды зубцами так же, как это делается у обыкновенных цилиндрич. *зубчатых колес* (см.). В нашем первом примере полоиды получились в виде двух разомкнутых кривых, совершающих колебательное движение относительно центров валов O_1 и O_2. Второй пример, указанный на фиг. 23 и 24, дает замкнутые полоиды, приспособленные для вращения в одном и том же направлении. На фиг. 24 показаны также зубцы, профиль которых получен методом циклич. зацеплений. Зубчатые колеса этого вида носят в М. п. название «некруглые колеса».



Фиг. 21—22.

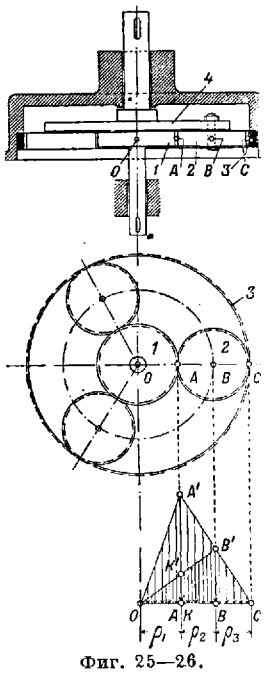
В практике современного машиностроения большое распространение получили так наз. «планетные передачи», вытесняя громоздкие ременные или обыкновенные зубчатые передачи. Схема такой «планетной передачи» простейшего типа дана на фиг. 25. Шестерня *1*, соединенная намертво с валом, делающим большое число оборотов,

сцепляется с зубчатым колесом 2, а это колесо катится по зубчатому венцу 3. Ось зубчатого колеса 2 укреплена на шайбе 4,



Фиг. 23—24.

посаженной намертво на приводной вал, делающий уменьшенное (редуцированное) число оборотов, и поэтому эти приборы носят название «редукторов», хотя при помощи той же конструкции можно медленное вращение превратить в быстрое. Предположим, что угловая скорость шестерни 1 нам дана, а также известны радиусы всех зубчатых колес. Обозначим точку соприкосновения первой шестерни с зубчатым колесом 2 буквой A, ось зубчатого колеса 2 буквой B, а точку соприкосновения зубчатого колеса 2 с зубчатым венцом буквой C. Скорость точки A $v_A = \varrho_1\omega_1$ представим на фиг. 26 отрезком $\overline{AA'}$ *мм*, затем соединим точку A' с точками O и C. Распределение скоростей на радиусе ϱ_1 будет давать треугольник OAA', а распределение скоростей на диаметре зубчатого колеса 2 дает тр-к $AA'C$, причем точка C скорости не имеет, являясь в данный момент полюсом мгновенного вращения при качении колеса 2 внутри венца 3.



Фиг. 25—26.

Скорость точки B пропорциональна отрезку $\overline{BB'}$, а этот отрезок равен половине отрезка $\overline{AA'}$, т. к. точка B делит сторону AC треугольника пополам, а сам отрезок $\overline{BB'}$ направлен параллельно линии $\overline{AA'}$. Поэтому

$$v_B = \frac{v_A}{2} = \frac{\varrho\omega_1}{2} \text{ м/сек},$$

но точка B соединена намертво с шайбой 4, а потому угловая скорость этой шайбы ω_2 найдется из ур-ия:

$$\omega_2 = \frac{v_B}{\varrho_1 + \varrho_2} = \omega_1 \frac{\varrho_1}{2(\varrho_1 + \varrho_2)}.$$

Следовательно передаточное число

$$\varepsilon = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\varrho_1}{2(\varrho_1 + \varrho_2)}.$$

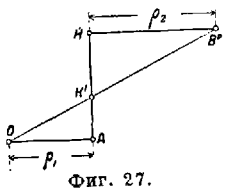
Соединим точку B' с точкой O. Полученный треугольник OBB' дает распределение скоростей на радиусе шайбы 4. Точка K, взятая на шайбе на расстоянии ϱ_1 от оси вращения, имеет скорость $v_k = \varrho_1\omega_2$ и м. б. представлена отрезком $\overline{KK'}$, а потому передаточное число ε м. б. определено также из соотношения:

$$\varepsilon = \frac{\varrho_1\omega_2}{\varrho_1\omega_1} = \frac{v_K}{v_A} = \frac{\overline{KK_1}}{\overline{AA_1}}.$$

Если дано передаточное число ε и радиус ϱ_1, то величина радиуса ϱ_2, а следовательно и размеры венца, м. б. найдены по ф-ле:

$$\varrho_2 = \varrho_1\left(\frac{1}{2\varepsilon} - 1\right)$$

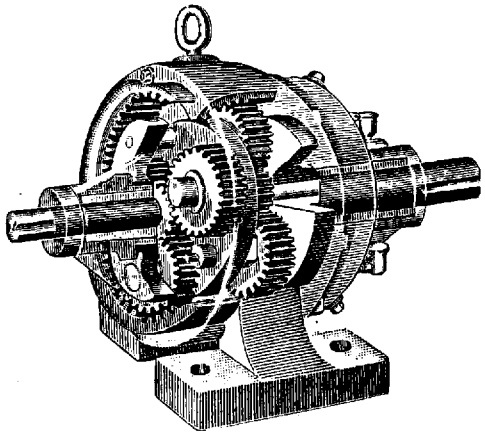
или простым построением, указанным на фиг. 27. Отложим по горизонтальному направлению радиус ϱ_1 и проведем к нему перпендикуляр через точку A; на этом перпендикуляре отложим выбранный отрезок $\overline{AK'}$ и вычисленную величину $\overline{AH} = \frac{\overline{AK'}}{2\varepsilon}$; проводя затем через точки O и K' наклонную линию, а через точку H параллель радиусу ϱ_1, мы найдем величину ϱ_2 в виде отрезка $\overline{HB'}$. Рассмотренная система редуктора дает небольшие конструктивн. размеры только при уменьшении числа оборотов не больше, чем в восемь раз. Если требуется большое уменьшение угловой скорости, то помещают один редуктор за другим (в одном кожухе), причем дают в одном редукторе уменьшение в четыре раза, в другом редукторе в пять раз. В результате работы сдвоенного редуктора мы получим уменьшение скорости в 20 раз. Общий вид двойного редуктора системы Геньшау дан на фиг. 28.



Фиг. 27.

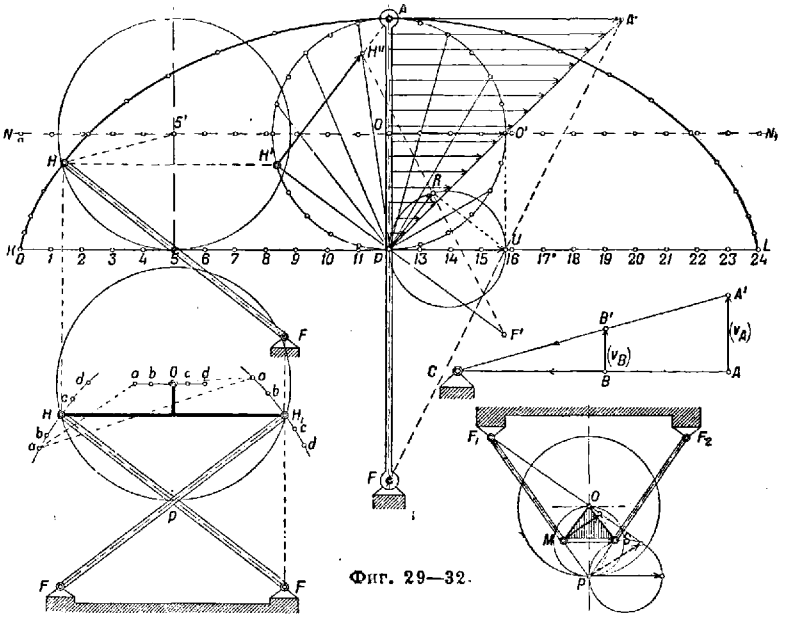
Перейдем теперь к рассмотрению траекторий, описываемых различными точками какой-нибудь системы, и к определению их радиусов кривизны. Для разрешения этой задачи мы будем пользоваться, как основным приемом исследования, методом проф. Гартмана, применяемым с успехом в тех случаях, когда полюс мгновенного вращения легко получить в пределах чертежа; во всех других случаях решение можно найти методом нормальных ускорений. Рассмотрим наиболее простой случай: круг катится без скольжения по прямой линии; требуется определить траекторию одной из точек окружности и построить для различных точек, взятых в плоскости круга, радиусы кривизны траекторий этих точек. Возьмем круг некоторого определенного диа-

метра $\overline{AP} = d$ *мм* и развернем его окружность, равную πd *мм*, в прямую линию KL (фигура 29). Разделим эту длину на 24 равные части и перенесем эти деления



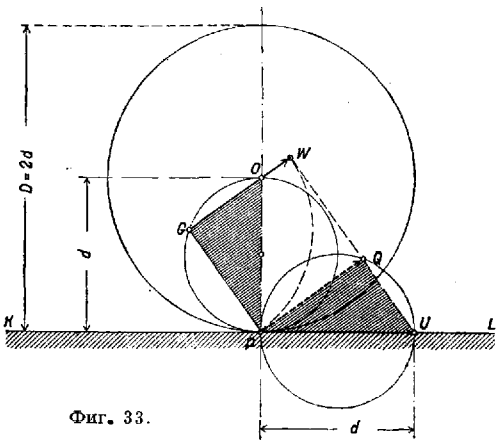
Фиг. 28.

на прямую линию NN_1, проведенную через центр круга O параллельно линии $\overline{KL}$. Разделим также окружность круга на 24 равные части и проведем к точкам деления хорды из точки касания P круга с прямой $\overline{KL}$. Кривая, описываемая точкой A, взятой на окружности, называется циклоидой и м. б. построена по точкам, получаемым при помощи засечек, напр. точка циклоиды H получается засечкой радиусом $\overline{H5'}$ из точки $5'$ и засечкой отрезком $\overline{H5}$, равным хорде $\overline{H'P}$. Найдем центр кривизны циклоиды для положения точки A на вертикальном диаметре AP. Предположим, что круг катится по прямой $\overline{KL}$ со скоростью v_0 *м/сек*. Представим на фиг. 29 эту скорость центра круга отрезком $\overline{OO'}$, равным радиусу круга; следовательно распределение скоростей на вертикальном диаметре $\overline{AP}$ можно дать тр-ком скоростей PAA', проводя линию $\overline{PA'}$ через точку O'. Определение центра кривизны (точка F) сводится, по мысли проф. Гартмана, к построению треугольника скоростей для радиуса кривизны FA по двум отрезкам: первый отрезок соответствует скорости точки A и принят на фиг. 30 равным $\overline{AA_1}$, а второй отрезок соответствует (в том же масштабе) скорости другой точки того же радиуса кривизны. На фиг. 30 второй точкой выбрана точка B и соответствующий отрезок взят равным $\overline{BB'}$. Проведем линию $\overline{A'B'}$ и продолжим ее до пересечения с линией $\overline{AB}$. Точка пересечения, отмеченная буквой C, даст искомый центр кривизны. В рассматриваемом нами движении круга по прямой точку B должна заменить точка радиуса кривизны, совпадающая в данный момент с полюсом мгновенного вращения P, а скорость v_B будет равна скорости центра круга v_0, т. к. с этой скоростью происходит смена точек, в к-рых круг касается прямой. На фиг. 29 отложен отрезок $\overline{PU}$, равный отрезку $\overline{OO'}$, и через точки A' и U проведена прямая, пересекающая направление радиуса кривизны в точке F — искомом центре кривизны. По построению отрезок AA' вдвое больше отрезка PU, а потому радиус кривизны AF вдвое больше диаметра круга AP. Построение радиуса кривизны для любой точки циклоиды, напр. для точки H, м. б. заменено построением радиуса кривизны для точки H', к-рая взята на той же центральной окружности, причем линия HH' проведена параллельно линии KL. В точке H' скорость м. б. представлена отрезком $H'H''$, равным хорде $H'P$. Проведем через точку P прямую, перпендикулярную к линии $H'P$, и спроектируем на эту прямую отрезок PU. Полученный отрезок PR пропорционален скорости смены точек касания в направлении перпендикулярном к радиусу кривизны, а поэтому достаточно провести прямую через точки H'' и R, чтобы на пересечении этой прямой с продолжением линии $H'P$ получить центр кривизны—точку F'. Тр-к PRU подобен тр-ку $PH'A$ и вдвое его меньше, а потому $\overline{H'H''} = \overline{H'P} = 2\ \overline{PR}$, следовательно, радиус кривизны $\overline{H'F'} = 2\ \overline{H'P'}$. Это равенство выражает известное из математики положение, что радиус кривизны циклоиды равен удвоенной



Фиг. 29—32.

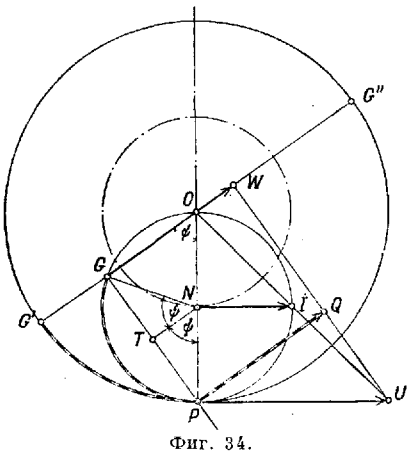
нормали. Этим свойством циклоиды можно воспользоваться, чтобы создать целый ряд новых механизмов, обладающих той особенностью, что одна из точек этих механизмов



Фиг. 33.

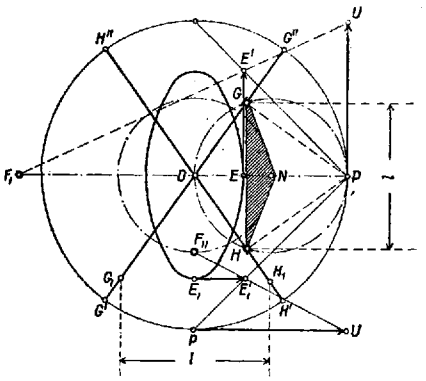
при его движении описывает на значительном протяжении почти прямую линию.

На фиг. 31 мы имеем механизм, состоящий из двух равных стержней, связанных шарнирно с опорой и друг с другом при помощи траверсы. Точка O этой траверсы занимает последовательно положения a, b, c и d, соответствующие перемещениям точек H и H_1. Расположение этой точки O соответствует центру круга, проведенного через точки P, H и H_1. Из чертежа видно, что траектория, описываемая точкой O, почти прямая линия. На фиг. 32 дано построение радиуса кривизны траектории точки M внутри круга, описанного на радиусе OP как на диаметре. Построение по идее ничем не отличается от построения радиуса кривизны точек циклоиды, но центр кривизны F_1 перешел в этом случае по отношению к полюсу P на ту же сторону, где расположена точка M. Взяв симметрично расположенную точку S и построив для нее центр кривизны F_2, мы получим механизм, известный в М. п. под названием «механизм Роберта».



Фиг. 34.

На фиг. 33 дано построение радиуса кривизны траектории точки G, взятой на окружности PGO, проходящей через полюс P и центр O катящегося круга. Скорость точки G, в масштабе $\beta = \frac{v_0}{OP}$, представлена отрезком GW равным отрезку GP. Построив окружность на отрезке $\overline{PU} = \overline{OP}$ и проводя линию PQ под прямым углом к линии PG, мы получим отрезок PQ, необходимый по предыдущему для построения радиуса кривизны траектории точки G. Но тр-к PGO равен тр-ку PQU, а потому отрезок GW равен отрезку PQ; следовательно линия WQ не может пересечь линию GP, а потому радиус траектории точки G равен бесконечности, а сама точка G движется по прямой, совпадающей с линией GO; это движение происходит лишь в течение бесконечно малого времени. Траектория точки G получает в этот момент перегиб. Т. к. траектория любой точки, взятой на окружности PGO, обладает указанным свойством, то круг $PGOP$ носит в М. п. название «круга перегибов» или «поворотного круга». Изменим условия движения и рассмотрим случай, когда в неподвижном круге радиуса OP (фиг. 34) катится без скольжения круг с диаметром равным

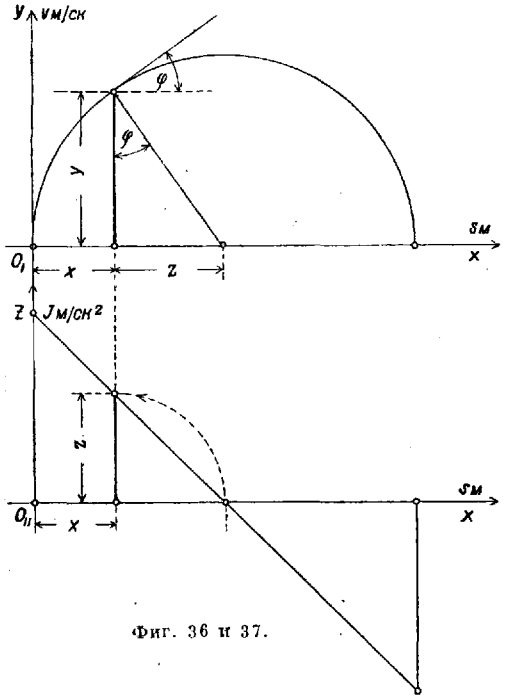


Фиг. 35.

OP. Предположим, согласно предыдущему примеру, что скорость центра N катящегося круга т-ка представлена на чертеже отрезком NI. Соединив центр O большого круга с точкой I и продолжив эту прямую до пересечения с касательной, проведенной к обеим окружностям в полюсе мгновенного вращения P, мы получим отрезок PU, пропорциональный скорости смены полюсов. Так как $PU = \overline{PO}$, то построение радиуса кривизны траектории точки G, лежащей на катящейся окружности, приводит нас к выводу, что и в этом случае центр кривизны лежит в бесконечности, а точка описывает прямую линию $G'G''$ (фиг. 34). На фиг. 35 проведены под произвольным углом два диаметра $G'G''$ и $H'H''$; по этим линиям двигаются ползушки H и G, связанные друг с другом траверсой, длиной в l м. Найдем радиус кривизны траектории, описываемой точкой E, лежащей на середине траверсы HG. Скорость точки E представлена отрезком EE', равным расстоянию точки E до полюса мгновенного вращения P. Проводя линию UE' до пересечения с линией PE, мы получим в точке F_I искомый центр кривизны. Тем же

приемом определен на фиг. 35 центр кривизны F_{II} для расположения траверсы G_1H_1, причем точка E заняла положение E_1 на вертикальном диаметре. Путь точки E при качении малого круга внутри большого будет представлен, как известно, эллипсом, и определенные выше радиусы кривизны позволяют легко установить очертания этого эллипса. Только что изложенный метод проф. Гартмана не требовал знания закона изменения скоростей, а потому ускорение движущихся точек могло быть какой угодно величины.

При определении радиуса кривизны методом нормальных ускорений наиболее простые результаты получаются в том случае,



Фиг. 36 и 37.

когда основное движение в системе принято как равномерное движение. Так, скорость v_N центра круга N, катящегося без скольжения внутри другого круга, будем считать постоянной величиной, следовательно угловая скорость относительно центра P мгновенного вращения $\omega_P = \text{Const}$. Диаграмма скорости точки G (фиг. 34) по диаметру $G'G''$, имеет вид полуокружности $G'PG''$, так как в любом положении точки G ее скорость, в масштабе $\beta = \frac{v_N}{NJ}$, пропорциональна отрезку $\overline{PG} = \overline{G\bar{W}}$. Диаграмма ускорений точки G найдется по диаграмме (v_s, s), на основании построения (фиг. 36) по ф-ле

$$j = \frac{dv}{dt} = v \cdot \frac{dv}{ds} = \frac{\beta^2}{a} \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{\beta^2}{a} \cdot z,$$

где z—отрезок, пропорциональный ускорению в рассматриваемой точке пути. В мертвых точках субнормаль z равна радиусу круга, а потому диаграмма ускорений точки G по пути s представляет прямую линию, наклоненную к оси абсцисс под углом 45° (фиг. 36 и 37). Зависимость нормального ускорения j_A^N точки A в криволинейном движении от радиуса кривизны ϱ траектории этой точки и ее скорости v_A дается, как известно, ф-лой

$$j_A^N = \frac{v^2}{\varrho}.$$

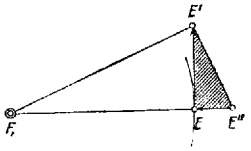
Применим эту ф-лу к движению по эллипсу точки E (фиг. 35). Если масштаб чертежа a *м* в 1 *мм*, а масштаб скоростей, по предыдущему, принят β *м/сек* в 1 *мм*, то

$$j_E^N = \frac{\beta^2}{a} \cdot \frac{\overline{EE'}^2}{F_1E} = \frac{\beta^2}{a} \cdot z_E^N.$$

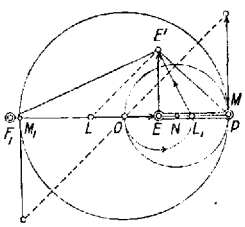
Построение отрезка z_E^N дано на фиг. 38, где тр-к EF_IE' взят равным такому же тр-ку на фиг. 35. Проведем линию $E'E''$ под прямым углом к линии $E'F_I$ и точку пересечения линии $E'E''$ с продолжением линии EF_I обозначим буквою E''. Т. к.

$$\overline{EE''} = \frac{\overline{EE'}^2}{\overline{F_IE}}, \text{ то } \overline{EE''} = z_E^N.$$

Следовательно, зная величину нормального ускорения j_E^N и представив это ускорение в масштабе $\gamma = \frac{\beta^2}{a}$ *м/сек²* в 1 *мм* отрезком $\overline{EE''}$, мы можем получить радиус кривизны траектории точки E, если отложим под прямым углом к направлению нормального ускорения $E''E$ отрезок $\overline{EE'}$, дающий в масштабе β *м/сек* в 1 *мм* скорость точки E. Соединив точки E'' и E' и проводя перпендикуляр к линии $E'E''$ до пересечения в точке F_I нормали к траектории точки E, получим радиус кривизны этой траектории в масштабе 1 *мм*—a *м*. Для определения нормального ускорения точки E в а б с о л ю т н о м движении найдем величину нормального ускорения той же точки в движении относительно точки M, совпадающей в данный момент с полюсом мгновенного вращения P. Скорость точки E представлена на фиг. 39 отрезком $\overline{EE'}$. Если соединить точку E' с точкой M и провести линию $E'L$ под прямым углом к линии $E'M$, то получим отрезок $\overline{LE}$, соответствующий нормальному ускорению в относительном движении. Ускорение точки M можно представить, по предыдущему, отрезком $\overline{MO}$, т. к. точка M описывает при своем движении прямую линию, аналогично точке G (фиг. 34). При выбранном нами масштабе скорости отрезок $\overline{LE} = \overline{EE'} = \overline{EM}$, а потому нормальное ускорение точки E в абсолютном движении будет пропорционально отрезку



Фиг. 38.



Фиг. 39.

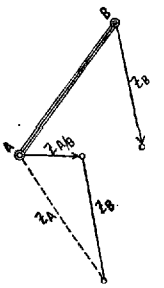
$$\overline{OE} = \overline{MO} - \overline{LE} = \overline{MO} - \overline{EM}.$$

Перекинув отрезок OE в положение EL_1 (фиг. 39) и соединив точки L_1 и E', мы получим радиус кривизны точки E, проводя $E'F_1$ под прямым углом к линии $E'L_1$.

Указанный только что метод нахождения нормального ускорения точки E в абсолютном движении есть частный случай теоремы Эйлера, выражаемой следующим геометрическим равенством:

$$j_A \rightleftarrows j_B \dashrightarrow j_{A/B}.$$

На фиг. 40 введены следующие обозначения: вектор Z_B представляет полное ускорение точки B в абсолютном движении; вектор $Z_{A/B}$ представляет полное ускорение точки A в движении относительно точки B; вектор Z_A представляет полное ускорение точки A в абсолютном движении. По теореме Эйлера три вектора Z_B, $Z_{A/B}$ и Z_A всегда образуют замкнутый треугольник.



Фиг. 40.

Применим эту теорему для нахождения ускорения ползуна в кривошипном механизме (фиг. 41). Разложим полное ускорение j_A и $j_{A/B}$ на компоненты, соответствующие нормальным и тангенциальным ускорениям:

$$j_A \rightleftarrows j_A^N \dashrightarrow j_A^T$$

$$j_{A/B} \rightleftarrows j_{A/B}^N \dashrightarrow j_{A/B}^T$$

и введем масштаб ускорений γ *м/сек²* в 1 *мм*, выбрав для j_A^N отрезок $\overline{AO}$; но $j_A^N = \alpha \cdot \overline{AO}\,\omega^2$, и следовательно $\gamma = \alpha\omega^2$, где ω — заданная угловая скорость кривошипа, а α—масштаб чертежа. Разделив почленно ур-ие Эйлера на полученный масштаб ускорений, получим:

$$Z_A \rightleftarrows Z_B \dashrightarrow Z_{A/B},$$

или

$$Z_A^N \dashrightarrow Z_A^T \rightleftarrows Z_B \dashrightarrow Z_{A/B}^N \dashrightarrow Z_{A/B}^T.$$

Предположим, что угловое ускорение $\frac{d\omega}{dt}$ кривошипа тоже дано, поэтому вектор

$$Z_A^T = \frac{j_A^T}{\alpha\omega^2}$$

м. б. вычислен по ф-ле

$$Z_A^T = \overline{AO}\,\frac{d\omega}{dt} \cdot \frac{1}{\omega^2}\ \textit{мм}.$$

Величина $Z_{A/B}^N$ найдется по ф-ле

$$Z_{A/B}^N = \frac{j_{A/B}^N}{\alpha\omega^2},$$

но

$$j_{A/B}^N = \frac{v_{A/B}^2}{\alpha \cdot \overline{AB}},$$

где $v_{A/B}$ — скорость точки A относительно точки B. Из тр-ка AOb, подобного полюсному тр-ку APB, мы найдем:

$$v_{A/B} = \alpha\omega\,\overline{Ab}.$$

В этом ур-ии множитель $\alpha\omega$ представляет масштаб скорости. Следовательно

$$Z_{A/B}^N = \frac{\overline{Ab}^2}{\overline{AB}}\ \textit{мм}.$$

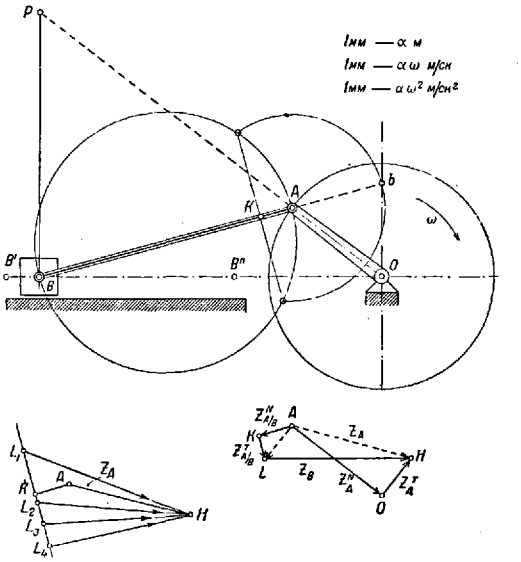
Этот отрезок можно построить, описав на шатуне AB как на диаметре окружность и засекая радиусом AB на этой окружности хорду. Проекция AK хорды на диаметр даст искомый отрезок. На фиг. 42 дано построение мн-ка ускорений: от точки A отложен вектор Z_A^N, равный и параллельный радиусу кривошипа AO, а перпендикулярно к к нему отложен вектор Z_A^T, равный отрезку OH, причем

$$\overline{OH} = \overline{AO}\,\frac{1}{\omega^2}\,\frac{d\omega}{dt}\ \textit{мм}.$$

Далее через точку A проведена линия параллельная шатуну и на ней отложен отрезок AK, равный $Z_{A/B}^N$. Остается провести две прямых линии: 1) через точку K под прямым углом к шатуну и 2) через точку H параллельно линии движения ползуна до встречи этих линий в точке L. Полученный отрезок LH, помноженный на масштаб ускорений, дает величину ускорения ползуна B:

$$j_B = \alpha\omega^2\,\overline{LH}\ \textit{м/сек²}.$$

Величина ускорения ползуна будет меняться, если изменять направление его движения, оставляя все остальные величины неизменными. В этом случае мн-к ускорений (фиг. 42) сохраняет неизменной точку H, а точка L перемещается по перпендикуляру



Фиг. 41—43.

к шатуну, в зависимости от наклона линии LH, как показано на фиг. 43. Линия мертвых точек у таких кривошипных механизмов не проходит через геометрич. ось вращения коренного вала.

Рассмотрим теперь влияние масс в движущейся системе кривошипного механизма и определим ту работу, которая требуется для ускорения или замедления поступательно двигающихся частей и шатуна. Обозначим вес поршня, штока и ползуна—через G_1 и вычислим массу всех реверсивно двигающихся частей

$$m_1 = \frac{G_1}{9{,}81}\left[\frac{\textit{кг}}{\textit{м/сек²}}\right].$$

Кинетич. энергия массы m_1 найдется по ф-ле:

$$E_1 = \frac{m_1 v_b^2}{2}.$$

Но $v_b = \beta \cdot \overline{Ob}$, где β — масштаб скоростей, равный $\frac{v_A}{\overline{OA}}$, следовательно

$$E_1 = \frac{m_1 v_A^2}{2}\left(\frac{\overline{Ob}}{\overline{OA}}\right)^2.$$

Найдем кинетическую энергию шатуна E_2, выделив элементарную массу m (точка K на фиг. 44) и составив для нее выражение кинетич. энергии $\frac{mv_K^2}{2}$. Для всего шатуна имеем:

$$E_2 = \sum \frac{mv_K^2}{2} = \sum \frac{m(a\overline{PK})^2}{2}\omega_P^2 = \frac{\omega_P^2}{2}\sum m(a\overline{PK})^2.$$

Выражение $\sum m(a\overline{PK})^2$ соответствует динамическому моменту инерции I_P относительно полюса P. Но по известной ф-ле

$$I_P = I_S + m_2(a \cdot \overline{PS})^2,$$

где I_S—момент инерции шатуна относительно его ц. т. (точка S на фиг. 44), а m_2—масса шатуна, кинетич. энергия шатуна

$$E_2 = \frac{I_S\omega_P^2}{2} + \frac{m_2(a \cdot \overline{PS})^2\omega^2 P}{2}.$$

Выражение $\omega_P a \cdot \overline{PS}$ соответствует скорости ц. т. шатуна v_S, а потому

$$E_2 = \frac{I_S\omega_P^2}{2} + \frac{m_2 v_S^2}{2}.$$

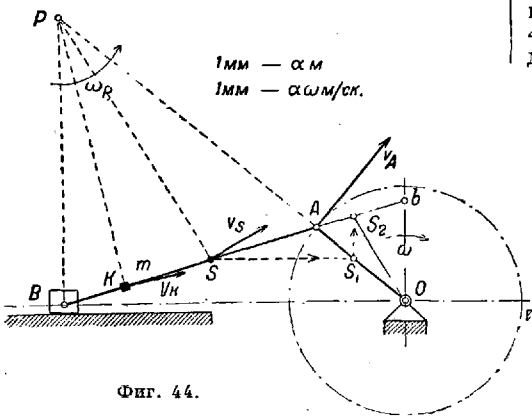
Далее из равенства $\omega_P(a \cdot \overline{AP}) = \omega(a \cdot \overline{AO})$ определим ω_P:

$$\omega_P = \omega \frac{\overline{AO}}{\overline{AP}},$$

но $\frac{\overline{AO}}{\overline{AP}} = \frac{\overline{Ab}}{\overline{AB}}$ (из подобия тр-ков AOb и APB) и потому

$$\omega_P = \omega \frac{\overline{Ab}}{\overline{AB}}.$$

Проведем в тр-ке AOb линию OS_2 параллельно линии SP. Точка S_2 делит отрезок



Фиг. 44.

Ab в том же отношении, в каком ц. т. делит шатун AB. Так как полюсом P пользоваться в кривошипном механизме невозможно, то остается получить точку S_2 построением, указанным на фиг. 44, где линия SS_1 проведена параллельно линии мертвых точек, а линия S_1S_2 — параллельно отрезку Ob. Отрезок OS_2 в масштабе $\beta = \frac{v_A}{\overline{OA}}$ м/сж в 1 мм представляет скорость ц. т. шатуна, а потому выражение для кинетич. энергии E_2 будет иметь вид:

$$E_2 = \frac{I_S\omega^2}{2}\left(\frac{\overline{Ab}}{\overline{AB}}\right)^2 + \frac{m_2}{2}v_A^2\left(\frac{\overline{OS_2}}{\overline{OA}}\right)^2.$$

Заменив в этом выражении величину угловой скорости ω равновеликим выражением $\omega = \frac{v_A}{a \cdot \overline{OA}}$ и вводя в формулу длину L шатуна в м, получим:

$$E_2 = \frac{v_A^2}{2}\left[\frac{I_S}{L^2}\left(\frac{\overline{Ab}}{\overline{OA}}\right)^2 + m_2\left(\frac{\overline{OS_2}}{\overline{OA}}\right)^2\right].$$

Общая кинетич. энергия всего шатунного механизма, за исключением маховика и кривошипа с валом, выражается так:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{v_A^2}{2}\left[m_1\left(\frac{\overline{Ob}}{\overline{OA}}\right)^2 + \frac{I_S}{L^2}\left(\frac{\overline{Ab}}{\overline{OA}}\right)^2 + m_2\left(\frac{\overline{OS}}{\overline{OA}}\right)^2\right].$$

Величина, стоящая в скобках, имеет размерность массы и м. б. обозначена буквой $\mathfrak{M}'$:

$$E = \frac{\mathfrak{M}' \cdot v_A^2}{2}\ [кгм].$$

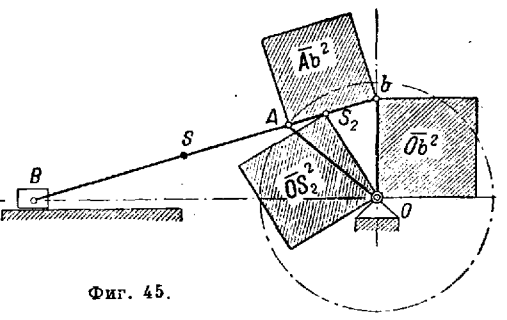
По предложению проф. Виттенбауера, переменная величина $\mathfrak{M}'$ носит название «приведенная масса», причем точкой приведения выбрана в нашем случае точка A—центр цапфы кривошипа. Введем обозначение:

$$\mathfrak{M}_1' = m_1\frac{\overline{Ob}^2}{\overline{OA}^2};\quad \mathfrak{M}_2' = \frac{I_S}{L^2}\frac{\overline{Ab}^2}{\overline{OA}^2};\quad \mathfrak{M}_3' = m_2\frac{\overline{OS_2}^2}{\overline{OA}^2}$$

и заменим площади квадратов $\overline{Ob}^2$, $\overline{Ab}^2$ и $\overline{OS_2}^2$ площадями прямоугольников: $y_1 \cdot \overline{OA}$, $y_2 \cdot \overline{OA}$, $y_3 \cdot \overline{OA}$.

$$\mathfrak{M}_1' = \frac{m_1}{\overline{OA}} \cdot y_1;\quad \mathfrak{M}_2' = \frac{I_S}{L^2} \cdot \frac{1}{\overline{OA}} \cdot y_2;\quad \mathfrak{M}_3' = \frac{m_2}{\overline{OA}} \cdot y_3.$$

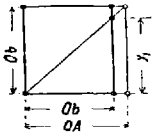
На фиг. 45 даны три квадрата, площади которых пропорциональны приведенным массам шатунного механизма для определенного положения кривошипа $\overline{OA}$ по отношению к линии мертвых точек, а на фиг. 46, 47 и 48 указан простой графический прием определения величин: y_1, y_2 и y_3. Построим диа-



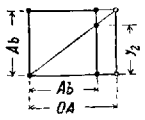
Фиг. 45.

граммы приведенных масс $\mathfrak{M}_1'$, $\mathfrak{M}_2'$ и $\mathfrak{M}_3'$ по пути цапфы кривошипа, выбрав для основания диаграммы отрезок h в 120 мм или в 240 мм. Разделив окружность на 24 части и построив для первых 12 делений соответ-

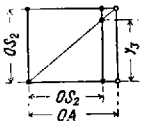
ствующие положения шатунного механизма, мы найдем отрезки Ob, Ab и OS_2, а по этим отрезкам построим или вычислим ор-



Фиг. 46.



Фиг. 47.



Фиг. 48.

динаты диаграмм y_1, y_2 и y_3. На фиг. 49 даны диаграммы $(\mathfrak{M}'_1, s_A)$, $(\mathfrak{M}'_2, s_A)$ и $(\mathfrak{M}'_3, s_A)$; масштабы этих кривых по оси ординат соответственно равны

$$q_1 = \frac{m_1}{\overline{OA}}\ ;\ q_2 = \frac{I_S}{L^2}\cdot\frac{1}{\overline{OA}} \text{ и } q_3 = \frac{m_2}{\overline{OA}},$$

а по оси абсцисс масштаб для всех кривых будет один и тот же: 1 *мм*—a' *м*, причем

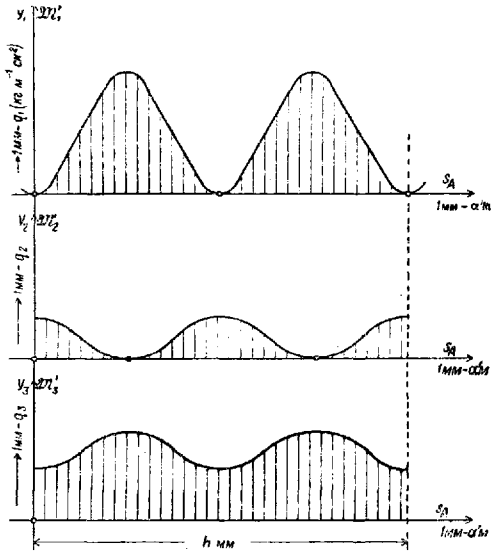
$$a' = \frac{2\pi\cdot a\cdot\overline{AO}}{h},$$

где h—основание диаграммы в *мм*. Зная величину приведенной массы $\mathfrak{M}'$ для любого положения кривошипа, можно получить величину кинетической энергии E, если будем располагать знанием скорости цапфы кривошипа v_A. В простейшем случае v_A = Const, следовательно диаграммой кинетич. энергии может служить диаграмма $(\mathfrak{M}', s_A)$, вычерченная в масштабе:

$$1\ мм—q\ [кг\cdot м^{-1}\,сек^2]$$

$$E = \frac{\mathfrak{M}' v_A^2}{2} = \frac{v_A^2 q}{2}\cdot z = \lambda\cdot z,$$

где $\lambda = \frac{v_A^2 q}{2}$ —масштаб кинетич. энергии. Изменение кинетич. энергии на величину dE происходит благодаря работе внешней



Фиг. 49.

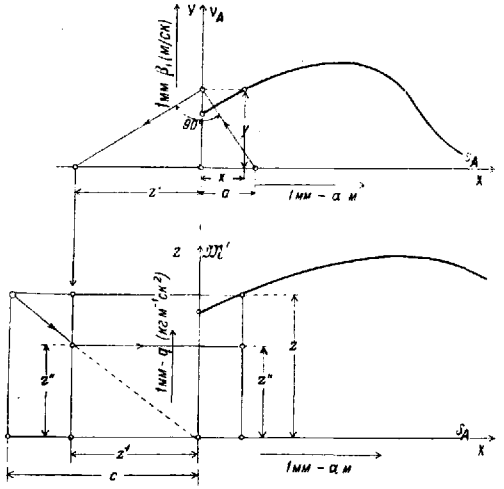
силы T на пути ds_A, причем направление силы T совпадает с касательной к кругу, описываемому цапфой кривошипа. Из ур-ия $T\cdot ds_A = dE$ имеем:

$$T = \frac{dE}{ds_A} = \frac{\lambda}{a'}\cdot\frac{dz}{dx} = \frac{\lambda}{a'}\cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

где φ—угол, образуемый касательной к кривой (E, s_A). В более сложном случае скорость v_A будет переменной величиной, зависящей от пройденного пути s_A. Предположим, что диаграмма (v_A, s_A) нам дана (фиг. 50), причем ординаты этой диаграммы представляют скорость v_A в масштабе β_1 *м/сек*—1 *мм*. Выражение для кинетич. энергии $E = \frac{\mathfrak{M}' v_A^2}{2}$ имеет в этом случае такой вид:

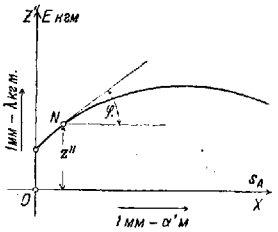
$$E = \frac{q\cdot\beta_1^2}{2}\cdot y^2 z.$$

Заменим площадь квадрата y^2 площадью равновеликого прямоугольника az', а пло-



Фиг. 50.

щадь прямоугольника $z'z$—площадью равновеликого прямоугольника—cz''. При этой замене $E = \frac{q\cdot\beta_1^2 ac}{2}\cdot z''$. На фиг. 50 дано построение ординаты z''. Проводя в точке N диаграммы (E, s_A) (фиг. 51) касательную, мы можем по углу φ определить согласно предыдущему силу T, необходимую для ускорения движущихся масс в этом более сложном случае. Приведенная масса имеет большое значение при решении общей задачи движения машины, включая и маховик. Если обозначить через I_M момент инерции маховика и принять радиус кривошипа равным R *м*, то приведенная масса маховика $\mathfrak{M}'_M$ найдется из соотношения:



Фиг. 51.

$$E = I_M\frac{\omega^2}{2} = \frac{\mathfrak{M}'_M v_A^2}{2} = \frac{\mathfrak{M}'_M R^2\omega^2}{2},$$

следовательно

$$\mathfrak{M}'_M = \frac{I_M}{R^2}\left[\frac{кг}{м/сек^2}\right].$$

На фиг. 52 масштаб приведенных масс—принят 1 *мм*—q $[кг\cdot м^{-1}\,сек^2]$, а потому для приведенной массы маховика мы получим ординату

$$Y = \frac{\mathfrak{M}'_M}{q}\ [мм].$$

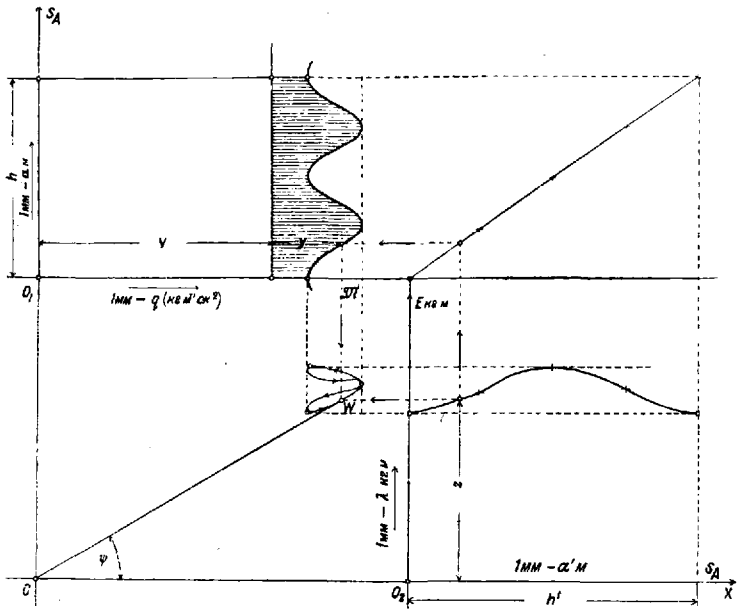
Предположим, что диаграмма кинетич. энергии (E, s_A) нам известна по работе сил движущих и сил сопротивления. На фиг. 52 эта диаграмма представлена в масштабе 1 *мм*—λ *кгм* по оси ординат и 1 *мм*—α' *м* по оси абсцисс. Вычертим новую диаграмму, т. н. диаграмму Виттенбауера, приняв для нее за абсциссы величины $Y + y$, а за ординаты величины z. Полученные точки W этой диаграммы лежат на замкнутой кривой, если рассматриваемое движение периодическое, в противном случае диаграмма получается разомкнутая. Из общего ур-ия

$$E = \frac{\mathfrak{M} v_A^2}{2}$$

имеем:

$$v_A^2 = \frac{2E}{\mathfrak{M}} = \frac{2\lambda}{q} \cdot \frac{z}{Y+y}.$$

Соединим одну из точек кривой Виттенбауера с началом координат O и обозначим через ψ угол наклона линии OW к оси абсцисс. Так как



Фиг. 52.

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{z}{Y+y},$$

то

$$v_A = \sqrt{\frac{2\lambda}{q}} \cdot \sqrt{\operatorname{tg}\psi}.$$

По этой формуле мы можем определить скорость в различных положениях цапфы кривошипа.

Лит.: Мерцалов Н. И., Кинематика механизмов, М., 1916; Руженцев С. К. и Иванов Б. А., Зубчатая и червячная передача. Редуктора, М., 1930; Левенсон Л. Б., Кинематика механизмов, М., 1923; его же, Общая теория машин. Статика и динамика машин, П., 1923; Смирнов Л. П., Кинематика механизмов и машин, М.—Л., 1927; его же, Кинетика механизмов и машин, М.—Л., 1926; Reuleax F., Lehrbuch d. Kinematik, B. 1 u. 2, Brschw., 1875—1900; Grashof F., Theoretische Maschinenlehre, B. 2, Hamburg—Lpz., 1883; Burmester L., Lehrbuch d. Kinematik, Lpz., 1886—88; Wittenbauer F., Graphische Dynamik, B., 1923; Hartmann W., Die Maschinengetriebe, Stg., 1913; Tolle M., Die Regelung d. Kraftmaschinen, 3 Aufl., B., 1921; Proeger F., Die Getriebekinematik als Rüstzeug der Getriebedynamik, «Forschungsarbeiten», Berlin, 1926, Heft 285; Grübler M., Lehrbuch d. technischen Mechanik, B. 1, Bewegungslehre, 2 Aufl., B., 1921; Pöschl Th., Lehrbuch d. technischen Mechanik, B., 1923; Beyer R., Einführung in die Kinematik, Lpz., 1928; Perry J., Angewandte Mechanik, Lpz., 1908; Kennedy A., The Mechanics of Machinery, L., 1907; Hartmann W., Ein neues Verfahren zur Aufsuchung des Krümmungskreises, «Z. d. VDI», 1893, p. 95; Kutzbach, «Maschinenbau», Berlin, 1927.

Л. Смирнов.

МЕХАНИКА СТРОИТЕЛЬНАЯ, комплекс прикладных дисциплин, излагающих методы расчета сооружений и их деталей. В понятие, обнимаемое этим комплексом, отдельными авторами и учебными программами втузов вкладывается весьма различное содержание. Повидимому правильнее всего М. с. рассматривать как объединение всех дисциплин, излагающих методы расчета сооружений в целом и их деталей, опирающихся на нек-рые общие для всех дисциплин основные гипотезы и положения. Основной задачей М. с. является расчет прочности как систем, представляющих собой отдельный стержень или брус, так и сооружений, являющихся сочетанием определенного числа отдельных стержней. Кроме изложения этой основной задачи курсы М. с. обычно заключают в себе и ряд вводных дополнительных глав, находящихся до нек-рой степени вне основного построения дисциплины. Отдельным разделам дисциплины в основной ее части дают названия *графической статики* (см.), *сопротивления материалов* (см.), статики сооружений. К вводным разделам дисциплины следует причислить такие главы, как статика сыпучих тел, и др. Следует также отметить, что все эти перечисленные главы не являются четко обособленными и самостоятельными частями предмета. Наоборот, все они связаны общностью гипотез и методики, сферы их действия в значительной степени переплетаются, и т. о. разделение задач М. с. по главам с вышеуказанными наименованиями представляется в значительной степени искусственным и произвольным. В самое последнее время, желая подчеркнуть общность методов М. с., с одной стороны, а с другой, учитывая неудобства в пользовании термином, позволяющим различное толкование, ряд авторов выдвигает новое название для этой дисциплины, именно—«теория сооружений». Наименование это, хотя и безусловно удачное, не получило однако еще достаточно широкого распространения. Многие курсы М. с. содержат в себе также главы и отдельные ссылки, заимствованные из «теории упругости», дисциплины, смежной с М. с. и обладающей некоторыми общими с ней исходными положениями, но все же принципиально от нее отличной как

в смысле особенностей методики, так и в смысле пределов применимости. Затем параллельно с рассмотрением вопросов аналитич. методами М. с. в отдельных курсах весьма часто приводятся результаты экспериментальных исследований и испытаний различных материалов как в пределах упругой деформации, так даже и за этими пределами, хотя область остаточной деформации принципиально исключается М. с. из рассмотрения. Обращение к результатам эксперимента объясняется необходимостью обосновать приложимость аналитич. выводов М. с. к употребляемым в инженерной практике материалам и сооружениям. С этой точки зрения соответствующее внесение в такую по существу аналитич. дисциплину, как сопротивление материалов, данных экспериментальных исследований представляется вполне обоснованным и даже необходимым.

Основными особенностями методики М. с. являются следующие три приема: 1) замена действительного сооружения условной расчетной схемой, 2) создание ряда рабочих гипотез и 3) ограничение своей задачи определенными рамками или пределами, именно такими, в к-рых принятые рабочие гипотезы не дают чрезмерного расхождения с действительными явлениями в материалах или сооружениях. Первый из этих приемов, т. е. замена сооружения его условной расчетной схемой, является основой построения всей дисциплины. Этот прием позволяет все разнообразие действительных сооружений подвести под одну из немногочисленных схем, разбираемых в М. с., что придает этой последней необходимую общность. Замена сооружения условной расчетной схемой основывается на сознательном игнорировании второстепенных моментов в работе материала и создании такой упрощенной схемы, которая отвечала бы только основным явлениям, имеющим место в данной конструкции. Примером использования этого приема является замена расчета напр. такого пространственного и жесткого сооружения, как мост, состоящего из сквозных ферм с клепаными узлами, расчетом плоской шарнирно-стержневой системы. Замена действительной картины условной применяется не только по отношению к схеме сооружения, но и к действующим на сооружение силам. Так, нагрузка, распределенная на весьма малую площадь по сравнению с основными размерами сооружения (напр. давление колеса паровоза), заменяется условной сосредоточенной силой, динамич. действие на мост от проходящего поезда заменяется действием системы условных статич. грузов величина к-рых выбирается с учетом динамич. воздействия фактич. нагрузки. Это приведение динамической и повторно действующей нагрузки к статич. уровню, т. е. к действию однократно прилагаемой статич. нагрузки, применяется почти во всех главах М. с., за исключением особых разделов, посвященных динамич. нагрузке. Одной из основных целей этих посвященных динамике глав является выработка т. н. динамич. коэф-тов, т. е. теоретич. обоснование перевода нагрузки к статич. уровню. Создание рабочих гипотез в М. с. ведется также путем сознательного игнорирования второстепенных явлений и обстоятельств и приписывания материалу в абсолютной степени тех свойств, к-рыми он обладает только в относительных, хотя и очень значительных, размерах. Подобное создание рабочих гипотез путем идеализирования свойств изучаемого объекта является типичным не только для М. с., но именно в ней, как в прикладной отрасли знания, этот прием получает особо широкое развитие.

Основной рабочей гипотезой М. с. является признание за рассматриваемыми материалами свойств идеального упругого тела. Этой гипотезой предполагается, что 1) вещество тела равномерно и непрерывно распределяется по всему его объему и 2) что тело это однородно, т. е. обладает во всех своих точках и во всех направлениях одинаковыми свойствами, в частности упругими. При этом делается допущение, что выделяемые из этого тела бесконечно малые элементы будут иметь все те же физич. свойства, к-рыми обладает идеальное упругое тело в целом. Эти условные предположения, позволяющие применять в отношении явлений в материальных телах анализ бесконечно малых, находятся в принципиальном противоречии с современными представлениями о строении твердых тел, имея в виду, что большинство материалов представляет собой агрегат из компонентов, резко отличающихся между собой упругими и прочими свойствами. Однако представляется в определенных пределах возможным признавать и за такими материалами свойства однородного тела, если такой материал обладает однородностью в статистич. смысле этого слова, т. е. если выделяемые из тела конечные объемы, достаточно большие, чтобы заключать в себе несколько зерен или кристалликов каждого компонента агрегата, но все же весьма малые по сравнению с общими размерами тела, будут обладать одинаковыми средними свойствами.

В отношении идеальных упругих тел признается, что при отсутствии внешних сил тело при данной $t°$ имеет определенную форму и определенный объем. Для изменения формы и объема тела при неизменной $t°$ необходимо приложение внешних сил, причем предполагается, что определенному изменению формы тела соответствует и вполне определенная система сил, и обратно — определенной системе сил соответствует вполне определенное изменение формы тела. Случаи, выходящие из рамок этих предположений, рассматриваются в особых разделах дисциплины, посвященных неустойчивым формам равновесия. Далее предполагается, что по удалении внешних сил тело полностью возвращается к своей первоначальной форме, т. е. к естественному состоянию, за которым признаются свойства устойчивого равновесия. *Гистерезис* (см.) и влияние времени на протекание упругих явлений не учитываются. В тех случаях, когда рассмотрению подлежат тела явно неоднородные, как напр. железобетон, тела эти искусственно приводятся к схеме однородного тела введением т. н. приведенных площадей.

Второй основной гипотезой М. с. является условное предположение, что между дефор-

мацией и напряжением существует линейная зависимость, к-рая остается постоянной при любом знаке и любой величине напряжения (закон Гука). Это условное предположение в определенных пределах достаточно близко соответствует действительным явлениям в таком материале, как сталь, и значительно менее близко к действительности в отношении таких материалов, как чугун, камень, дерево и др. Все перечисленные выше гипотезы являются основными и для теории упругости. Специальной гипотезой М. с. является предположение, что плоские сечения, нормальные к оси бруса, остаются плоскими и после деформации в том случае, когда действие внешних сил вызывает в этих сечениях только нормальные напряжения (гипотеза Бернулли). Это предположение в отношении брусьев прямых или малой кривизны приводит к другому положению, именно—к гипотезе изменения нормальных напряжений по закону плоскости (гипотеза Навье).

Очевидно, что выводы М. с., основанные на перечисленных рабочих гипотезах, применимы только с определенными ограничениями именно лишь к тем случаям, в отношении к-рых сделанные в этих гипотезах предположения оправдываются с достаточной степенью точности. Прежде всего поэтому выводы М. с. могут применяться к явлениям лишь в пределах упругости, т. е. только при таких напряжениях, при которых остающиеся деформации практически равны нулю. Затем М. с. ограничивает свою задачу только такими явлениями, которые сопровождаются малыми деформациями и малыми по сравнению с общими размерами тела относительными перемещениями. Это ограничение позволяет считать, что деформации, вызываемые одной системой сил, не вызывают изменений в действии другой системы сил, приложенной к тому же сооружению. Отсюда в свою очередь вытекает возможность определять совокупное воздействие нескольких систем сил на тело как сумму воздействий каждой системы в отдельности. Это свойство аддитивности воздействий обычно носит название принципа сложения действия сил или независимости действия сил и является одним из важнейших принципов дисциплины. Следует однако отметить, что в число случаев, рассматриваемых М. с., входят также и такие, где принцип этот нарушается. К таким особым случаям относится напр. продольный изгиб, совместное действие изгиба и сжатия и др. Указанные выше ограничения принимаются также и теорией упругости. Соответственно же указанной выше специальной гипотезе М. с., именно гипотезе Бернулли, этой дисциплиной вводится и дополнительное ограничение своих задач, именно рассмотрению подвергаются лишь такие тела, поперечные размеры к-рых малы по сравнению с длиною тела. Только в отношении таких тел, называемых брусьями или стержнями, гипотеза плоских сечений оправдывается с достаточной для практики степенью точности. К сожалению, выводами М. с. нередко пользуются и вне рамок ее действительной применимости. К подобной экстраполяции можно прибегать только в качестве первого приближения и всегда следует учитывать при этом возможность крупных ошибок и погрешностей.

Общая схема построения М. с. может быть представлена в следующем виде: I. Теория внешних сил. Плоские и пространственные системы сил. Неподвижная и подвижная нагрузка. II. Теория отдельного статически определимого бруса (сопротивление материалов): а) теория сечения; б) основные явления в брусе в их чистом виде; чистые растяжения, сжатие, сдвиг, изгиб, кручение и местное действие сил; в) комбинированные явления; косой изгиб, совместное растяжение и изгиб и т. д.; г) построение изгибов, основанное на свойствах дифференциального уравнения упругой линии. III. Теория статически определимого шарнирно-стержневого сочетания брусьев (статика сооружений): а) аналитич. определение усилий в фермах; б) графич. определение усилий; в) влияние подвижной нагрузки; г) пространственные шарнирно-стержневые системы. IV. Основные теоремы о перемещениях в упругих системах. V. Расчет статически неопределимых систем. VI. Вводные главы М. с.: а) динамическое действие сил; б) продольные изгибы; в) статика сыпучих тел.

В первом разделе этой схемы изучаются нагрузки, действующие на тела, даются способы нахождения реактивных сил и исследуется характер воздействия совокупности активных и реактивных сил на сооружение. Рассматриваемые в М. с. действующие на сооружение нагрузки м. б. подразделены на нагрузки объемные, т. е. распределенные по объему тела; поверхностные, т. е. действующие на определенную поверхность; линейные, т. е. распределенные по длине оси бруса, и сосредоточенные. Так как природа всякой нагрузки всегда материальна, т. е. связана с объемом, то в строгом смысле слова все нагрузки принадлежат к числу объемных. Все же остальные из перечисленных категорий нагрузок являются по существу условным схематич. изображением действия сил на тело. В виду малых поперечных размеров бруса обычно пренебрегают тем обстоятельством, что фактически нагрузка бывает приложенной по поверхности бруса, и относят ее непосредственно к оси бруса, т. е. к линии, соединяющей ц. т. поперечных сечений тела. Только в отдельных монографиях (Белзецкий, Руднев и нек-рые др.) учитывается влияние переноса нагрузки с поверхности на ось. Ось бруса и является тем условным расчетным сооружением, к которому относят действие внешних сил. В виду того что М. с. ограничивается только рассмотрением случаев с малыми перемещениями, представляется возможным считать внешние силы приложенными к оси бруса в ее недеформированном состоянии. Это обстоятельство позволяет к условиям равновесия упругих тел применять все те правила и положения, к-рые даются в теоретич. механике для абсолютно твердых неизменяемых тел. Поэтому для сложения, разложения и переноса сил, приложенных к сооружению, М. с. пользуется всеми графич. и аналитич. приемами, известными в *механике теоретической* (см.). К специальным практическим приемам М. с. для сложения сил, лежащих в одной пло-

скости, нужно отнести метод т. н. *веревочного многоугольника* (см.), хотя это построение иногда изучается и в курсах теоретической механики. Для плоской системы сил теорет. механика дает, как известно, три ур-ния равновесия, иначе говоря, три условия для нахождения реактивных сил. Т. о. сооружение, представляющее собой один жесткий диск, является статически определимым относительно реакции опор в том случае, если реакции опор содержат три и не более трех неизвестных. Наиболее частой комбинацией опор для плоского статически определимого сооружения являются две опоры, именно шарнирно-неподвижная опора и шарнирно-подвижная опора. В последнее время все больше входит в употребление условное изображение реактивных устройств при помощи опорных стерженьков. Определение реакций сводится к разложению равнодействующей внешних сил на три пересекающиеся в одной точке составляющие по направлениям трех опорных стерженьков. Для статически определимой относительно реакций опор жесткой пространственной системы для закрепления к опорам необходимы 6 опорных стержней, не пересекающихся по одной прямой, соответственно 6 условиям равновесия пространственной системы сил. После того как будут определены реакции опор, представляется возможным перейти к исследованию действия совокупности внешних сил на брус. В этом исследовании элемент ds бруса в любом мысленно проведенном сечении рассматривается как звено, соединяющее две группы активных и реактивных сил, именно группу сил, находящихся левее сечения, и группу сил, находящихся правее сечения. Действие этих двух групп сил на элемент ds сводится в общем случае к нормальной силе N_z, вызывающей растяжение или сжатие, моментам M_x и M_y, вызывающим изгиб элемента вокруг осей X и Y, лежащих в плоскостях сечения и являющихся главными осями инерции сечения, поперечным силам Q_x и Q_y, вызывающим сдвиги, параллельные осям X и Y, и крутящему моменту M_z, вызывающему кручение вокруг оси Z, совпадающей с касательной к оси бруса в месте сечения.

Для расчета прочности сооружения необходимо знать в каждом сечении бруса наибольшие значения изгибающих моментов, поперечных сил, нормальной силы и крутящего момента. Разрешение этой задачи при неподвижной нагрузке делается методом построения эпюр (см. *Балки неразрезные* и *Балки простые*), в случае подвижной нагрузки—методом *линий влияния* (см.). После того как одним из этих методов будут найдены в каждом сечении значения моментов, нормальных и поперечных сил, представляется возможным перейти собственно к расчету прочности, т. е. к определению внутренних напряжений и *деформаций* (см.) в брусе. Этому исследованию внутренних сил в брусе, возникающих при изгибе, сдвиге, сжатии или растяжении и кручении, в курсах М. с. обычно предпосылают раздел, посвященный исследованию сечения, или так назыв. теорию сечения. Это исследование заключается в нахождении определенных величин, характеризующих сечение с геометрической стороны и называемых *моментами инерции* (см.). Необходимость нахождения этих величин вызывается тем, что они входят в выражения, определяющие значения напряжений и деформаций при изгибе, сдвиге и кручении. В теории сечения подвергаются исследованию моменты инерции, центробежные моменты инерции и полярные моменты инерции, из к-рых в теории изгиба, кручения и сдвига находят применение в большинстве случаев т. н. главные центральные моменты инерции.

Как выше было указано, действие внешних сил на элемент бруса в общем случае сводится к изгибу относительно двух осей, сдвигу параллельно двум осям, растяжению или сжатию и кручению, действующим на элемент одновременно. Для упрощения рассуждений обычно в М. с. сперва расчленяют все эти явления, рассматривают каждое из них в отдельности и лишь затем, изучив эти явления в чистом виде, переходят к рассмотрению комбинированных явлений, т. е. сочетаний нескольких одновременно действующих на элемент бруса факторов. Эти чистые явления следующие: чистое растяжение или отрицательное растяжение — сжатие, т. е. случай, когда имеется только нормальная сила; чистый изгиб, т. е. случай, когда действие внешних сил на сечение сводится только к изгибающему моменту относительно одной из главных осей инерции сечения; чистый сдвиг, т. е. случай, когда на сечение действует только поперечная сила, и чистое кручение, т. е. случай, когда действие внешних сил на сечение сводится к крутящей паре. Чистые растяжение, сжатие, изгиб и кручение м. б. реально осуществлены. Что же касается чистого сдвига, то рассмотрение его в качестве явления, возникающего в результате действия на сечение поперечной силы, м. б. сделано только путем нек-рой абстракции, так как поперечная сила может иметь место только при наличии переменного момента. Поэтому изучение сдвига в чистом виде в результате действия поперечной силы Q следует рассматривать как нек-рое условное расчленение двух явлений, т. е. сдвига и изгиба, по существу действующих всегда совместно. Явление чистого сдвига в элементарной частице тела м. б. все же представлено как результат одновременного действия растяжения и сжатия по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Явление чистого сдвига имеет также место и при кручении.

В результате чистого растяжения или сжатия два смежных сечения бруса, оставаясь параллельными, взаимно удаляются или приближаются, причем это относительное линейное перемещение обратно пропорционально т. наз. жесткости при растяжении-сжатии. При изгибе два смежных сечения поворачиваются одно относительно другого, причем угол относительного поворота обратно пропорционален жесткости при изгибе. В кривом брусе явление осложняется тем, что нормальная сила вызывает дополнительный поворот смежных сечений, а изгибающий момент их дополнительное сближение или удаление. Как сжатию или растя-

жению, так и изгибу соответствует линейная деформация волокон, параллельных оси бруса. Соответственно этим деформациям в сечениях, нормальных к оси бруса, возникают внутренние силы—нормальные *напряжения* (см.), которые уравновешивают действие нормальной силы на сечение. При растяжении-сжатии напряжения эти распределяются при отсутствии резких изменений в сечениях бруса равномерно по сечению, при изгибе же напряжения растут пропорционально расстоянию от той оси, относительно которой происходит изгиб. В случае резкого изменения сечения бруса напряжения распределяются по более сложному закону, и задача становится неразрешимой методами М. с. Величину напряжений находят, исходя из гипотезы плоских деформаций. Для брусьев малой кривизны предположению, что плоские сечения остаются плоскими и после деформации, соответствует и допущение того, что нормальные напряжения изменяются по сечению по закону плоскости (закон Навье). В результате сдвига два смежных сечения перекашиваются одно относительно другого. Величина этого перекоса обратно пропорциональна т. н. жесткости сечения при сдвиге. Соответственно этому перекосу в сечении возникают тангенциальные напряжения. Эти напряжения распределяются по сечению неравномерно. Закон их распределения излагается в теории изгиба. В некоторых случаях (напр. при расчете заклепок на срез, врубок на скалывание) распределение тангенциальных напряжений чисто условно принимается равномерным.

При кручении бруса два смежных сечения поворачиваются или закручиваются одно относительно другого вокруг оси бруса. Угол закручивания при кручении обратно пропорционален так наз. жесткости при кручении. Явление кручения в курсах сопротивления материалов рассматривается обычно только для бруса круглого сечения, в отношении к-рого можно считать, что плоские сечения остаются при малых деформациях плоскими и после закручивания бруса на определенный угол. Деформация кручения в этом предположении сводится к повороту одного сечения относительно другого вокруг оси бруса, т. е. к относительным сдвигам точек сечений; напряжения при кручении следовательно являются напряжениями тангенциальными. Величина сдвига, а следовательно и напряжения, при кручении бруса круглого сечения пропорциональна расстоянию данной точки сечения от оси. Значение этого напряжения находят, исходя из условий равновесия сил внешних и внутренних, приложенных к сечению. При кручении стержней некруглого сечения поперечные сечения стержней перестают быть плоскими. В отношении таких стержней элементарные методы М. с. не могут дать точного решения. Поэтому обычно курсы М. с. ограничиваются приведением для ряда сечений готовых значений напряжений и углов закручивания, полученных или путем применения методов теории упругости или путем экспериментального исследования. Некоторые курсы М. с. излагают исследование стержней эллиптических и прямоугольных. К более углубленным методам расчета, чем те, которыми обычно располагает М. с., приходится прибегать и при исследовании тех напряжений, которые возникают в результате резких изменений сечений по длине бруса, подвергнутого кручению.

Помимо напряжений, возникающих в сечении в результате действия на него совокупности сил, лежащих вне сечения, в брусе возникают напряжения и от действия на элемент нагрузки, расположенной непосредственно в данном сечении. Напряжения, возникающие в результате такой нагрузки, называются местными. Точное нахождение величины этих напряжений не м. б. получено методами М. с., но в простейших случаях приближенное решение м. б. получено и элементарным путем.

Исследование каждого из чистых явлений, т. е. чистого растяжения-сжатия, сдвига, изгиба и кручения, позволяет, пользуясь принципом независимости действия сил, изучить и комбинированные, или сложные явления, т. е. сочетания двух или более чистых явлений. Из таких сложных явлений прежде всего излагается явление изгиба бруса системой сил, лежащих в плоскости оси бруса и параллельных одной из главных осей инерции сечения. Случай этот представляет собой сочетание действия на брус изгибающего момента и поперечной силы. К числу комбинированных явлений надо отнести и случай косого изгиба, т. е. изгиба, при к-ром вектор изгибающего момента не совпадает с одной из главных осей инерции сечения. Случай этот может рассматриваться как совместное действие двух чистых изгибов относительно каждой из главных осей сечения. Более сложным является случай, к-рый имеет место при действии на сечение силы, параллельной оси бруса, но не проходящей через ц. т. сечения. Этот случай, называемый иногда в курсах М. с. неравномерным сжатием, а иногда общим случаем действия сил, приводится к совместному действию двух чистых изгибов и чистого растяжения-сжатия. Наконец в курсах М. с. излагается и случай комбинированного изгиба и кручения. В тех случаях, когда в результате сложного сопротивления бруса в его сечениях, нормальных к оси, возникают как нормальные, так и тангенциальные напряжения, необходимо бывает для суждения о прочности подвергнуть исследованию и т. н. косые напряжения. Это наименование дается напряжениям, имеющим место в площадках, наклоненных под нек-рым углом к сечению, нормальному к оси бруса. Величины этих напряжений меняются в зависимости от указанного угла наклона площадки. Максимальные и минимальные значения косых нормальных и косых тангенциальных напряжений носят название главных нормальных и главных тангенциальных напряжений. Для того чтобы судить по найденным деформациям и напряжениям о необходимых размерах проектируемого сооружения или о запасе прочности в сооружении существующем, необходимо знать, каким значениям напряжений или деформаций или сочетаниям их соответствует появление в мате-

риале явлений, признаваемых недопустимыми. Для тел пластических этими недопустимыми явлениями будет появление остаточных деформаций, для тел хрупких—разрушение. В виду того что природа и механизм появления остаточных деформаций и механизм разрушения в реальных телах отличаются, с одной стороны, сложностью, а с другой, зависят в некоторой степени от обстоятельств, трудно поддающихся аналитическ. учету, приходится при определении прочности исходить из той или иной рабочей гипотезы прочности, наиболее близко отвечающ й свойствам данного материала. Эти рабочие гипотезы носят название теорий *прочности* (см.).

Имея в своем распоряжении методы нахождения деформаций в любой точке оси, возможно определять также и перемещения в исследуемом брусе. При растяжении или сжатии эти перемещения будут результатом удлинения или укорочения соответствующего участка оси бруса и м. б. найдены в общем случае путем интегрирования выражения удлиненного элемента *ds* оси бруса. При кручении перемещение имеет угловой характер и измеряется углом закручивания по длине рассматриваемого участка. Этот угол закручивания м. б. найден как интеграл от выражения элементарного угла закручивания на длине элемента *ds* оси закручиваемого бруса. Перемещения при действии изгиба возникают в результате того, что ось бруса в деформированном состоянии в каждой точке получает определенное изменение кривизны, в результате чего прямой напр. брус становится кривым. Очертание оси бруса в деформированном состоянии носит название у п р у г о й л и н и и. Теория изгиба доказывает, что в отношении бруса малой кривизны дополнительная кривизна в любой точке бруса прямо пропорциональна изгибающему моменту и обратно пропорциональна жесткости при изгибе. Нахождение ординат упругой линии следовательно сводится к чисто геометрич. задаче нахождения ординат кривой, форма к-рой определяется известным законом изменения кривизны, а положение в плоскости—заданными направлениями перемещения опорных точек. Направления этих перемещений определяются характером опорных закреплений. Задача нахождения ординат упругой линии значительно упрощается тем, что представляется возможным (в виду того, что М. с. ограничивает свою задачу лишь случаями малых перемещений) приравнивать кривизну бруса, получающуюся в результате изгиба, второй производной от выражения прогиба бруса. Интегрирование производится отдельно на каждом участке бруса, имеющем свой закон изменения кривизны. Число произвольных постоянных, возникающих при нахождении значения y в процессе такого двукратного интегрирования, будет следовательно равняться удвоенному числу имеющихся участков. В таком виде соотношение между кривизной, выражаемой через изгибающий момент бруса и жесткость сечения, и ординатами упругой линии или прогибом носит название диференциального ур-ия упругой линии. Основываясь на этой диференциальной зависимости между моментом и прогибом, нахождение ординат прогиба можно делать аналитически, графически или графо-аналитически. Аналитич. решение сводится к двукратному интегрированию выражения кривизны и определению произвольных постоянных интегрирования, исходя из условий опорных закреплений и т. н. условий на границах каждого участка, на к-ром кривизна имеет свой особый закон изменения.

Графич. и графо-аналитич. методы основаны на имеющей место определенной аналогии между изгибающими моментами, поперечными силами и нагрузкой, с одной стороны, и ординатами упругой линии, тангенсами углов наклона касательных к ней и кривизнами—с другой. Эта аналогия заключается в том, что значение поперечной силы, с одной стороны, и тангенсов углов наклона, с другой, являются соответственно первыми производными от значения моментов и прогибов, а значение нагрузки и значение кривизны—вторыми производными от тех же величин. На основании этой аналогии представляется возможным тангенсы углов наклона балок находить как поперечные силы, а прогибы—как моменты от условной нагрузки, действующей на условное сооружение, причем за условную нагрузку принимается эпюра кривизны, за условное же сооружение берут такое, в котором имеется заделка там, где у действительного бруса—свободный конец, свободный конец—там, где у действительного бруса имеется заделка, а шарнир—там, где у действительного сооружения имеется шарнирная опора.

Все указанные выше разделы М. с. относились к системам, представляющим собой один брус или стержень. Комплексу этих разделов обычно дается название «сопротивления материалов». Комплексу же разделов, трактующих о сооружениях, представляющих собой сочетание нескольких стержней, присваивают название «статики сооружений». Такие сооружения м. б. подразделены на шарнирно-стержневые системы, или *фермы* (см.), и на сооружения с жесткими узлами, иначе *рамы* (см.). Рамы в большинстве случаев являются системами статически неопределимыми и рассматриваются в разделах, посвященных этой группе сооружений. Главную же задачу статики сооружений в части, касающейся статически определимых систем, составляет расчет ферм. Расчет этих последних основан на замене действительного сооружения с жесткими узлами условной расчетной схемой, построенной в предположении наличия идеальных, т. е. работающих без трения, шарниров во всех узловых соединениях. Нагрузка в отношении такой схемы принимается приложенной в узлах системы. Нагрузку, приложенную вне узлов, раскладывают на составляющие, приложенные в узлах, и дополнительно учитывают местный изгиб того элемента, в пределах к-рого расположена нагрузка. Плоская статически определимая ферма, представляющая один жесткий диск, при общем числе узлов k должна иметь внутренних стержней $n=2k-3$. Для статически определенного прикрепления к земле такого жесткого диска необходимо иметь еще три

опорных стержня. При таком числе стержней геометрически неизменяемая система представляет собой и статически определимую систему. При большем числе стержней система будет статически неопределимой. При меньшем числе система превращается в геометрически изменяемое сочетание стержней. Часть внутренних стержней м. б. заменена таким же числом соответственно расположенных дополнительных опорных стержней. Вследствие приложения нагрузки только в узлах фермы и предположения об идеальности шарниров в стержнях, составляющих ферму, в элементах будут иметь место только нормальные силы или усилия. Для нахождения этих усилий применяют графич., аналитич. и графо-аналитич. приемы. В случае неподвижной нагрузки графическое нахождение усилий в ферме производят путем построения диаграммы Кремона (см. *Графическое определение усилий*). Аналитическое определение усилий в фермах делается или методом сечений или методом вырезаний узлов (см. *Фермы*). В случае подвижной нагрузки для нахождения величины усилий в элементах фермы пользуются инфлюентными линиями этих усилий. Построение этих инфлюентных линий основывается на тех же методах сечения или вырезания узлов (см. *Линии влияния*).

Определение прогибов в шарнирно-стержневых системах м. б. сделано методом упругих грузов (см. *Графическое определение перемещений*) или же применением основных теорем о перемещениях. Эти основные теоремы о перемещениях распространяются как на системы сплошные, так и сквозные и могут рассматриваться как обобщение начала возможных перемещений Лагранжа на упругое тело. В этом обобщенном виде теорема Лагранжа обнимает собой работу как внешних, так и внутренних сил системы. При этом за возможную систему перемещений для данной системы сил принимается такая, к-рая возникает в данном сооружении в результате упругой деформации его под действием любой другой воображаемой системы сил. Т. о. за виртуальные перемещения для внешних сил принимаются не бесконечно малые, а конечные, хотя и очень малые, перемещения, являющиеся результатом упругой деформации тела. Силы действительного и воображаемого состояния считаются приложенными к оси бруса в ее недеформированном состоянии, что является допустимым постольку, поскольку перемещения действительного состояния являются относительно весьма малыми величинами по сравнению с общими размерами тела. Для нахождения в действительном состоянии линейного или углового перемещения в направлении m—m точки m какого-нибудь сооружения в воображаемом состоянии по этому направлению прикладывают к сооружению силу $P=1$, причем под силой P здесь понимают как собственно силу, так и момент, если определяется угловое перемещение. Тогда из условия равенства нулю работы сил внешних и внутренних воображаемого состояния на пути внутренних и внешних перемещений действительного состояния, для искомого перемещения получается для нахождения перемещения выражение, носящее название ф-лы Мора или Максвелла-Мора. Для нахождения относительных перемещений в воображаемом состоянии прикладываются к системе групповые единичные нагрузки, т. е. нагрузки, состоящие из двух единичных сил или пар, направленных по искомому относительному перемещению. Для нахождения перемещений часто пользуются также теоремой Кастильяно. Нахождение перемещений, согласно этой теореме, дающей зависимость между величиной перемещения и потенциальной энергией упругой деформации системы, по существу не отличается от определения перемещения методом Мора.

Распространение начала возможных перемещений на упругое тело позволяет также установить нек-рые весьма важные положения, известные как теорема о взаимности работ (Бетти) и теорема о взаимности деформаций (Максвелла). Первая из этих теорем обнимает собой общий случай действия на сооружение последовательно двух произвольных систем или, как принято говорить, случай двух состояний одного и того же сооружения. Согласно теореме Бетти работа внешних сил первого из таких состояний на пути перемещений второго состояния равна работе внешних сил второго состояния на пути перемещения первого (см. *Взаимность перемещений*). Теорема Максвелла может рассматриваться как частный случай теоремы Бетти, именно как тот, где и в первом и во втором состоянии к сооружению приложено по одной силе, причем силы первого состояния и второго равны между собой (взаимность деформаций). Согласно этой теореме перемещение в первом состоянии по направлению силы второго состояния равно перемещению во втором состоянии по направлению силы первого состояния. Аналогичные соотношения м. б. выведены также и для случаев, когда воздействиями являются не силы, а перемещения.

Методы нахождения перемещений и вышеуказанные теоремы Бетти и Мора позволяют производить расчет не только систем статически определимых, но и статически неопределимых, т. е. систем, обладающих излишним числом связей внутренних или внешних против числа, необходимого для обеспечения геометрич. неизменяемости системы. При расчете таких сооружений необходимо для нахождения т. н. лишних неизвестных использовать в дополнение к ур-иям статич. равновесия также и ур-ия, вытекающие из рассмотрения картины деформации сооружения, определяемой характером избыточных связей. Как правило при расчете статически неопределимых систем вводят в рассмотрение т. н. основную систему. Эта система в общем случае получается из изучаемой путем отбрасывания нек-рого числа существующих в системе связей и введения в систему нек-рого числа дополнительных связей. По направлению каждой из отброшенных связей прикладываются силы, причем под силами в данном случае понимают как собственно силы, так и моменты. По направлению же вновь введенных связей системе даются перемещения линейные или

угловые. Силы эти и перемещения принимаются за неизвестные, для нахождения к-рых составляют столько дополнительных ур-ий, сколько имеется неизвестных сил и перемещений вместе взятых. Если основная система получена из изучаемой путем отбрасывания n имеющихся связей и введения m новых дополнительных связей, то общее число неизвестных будет равно $n+m$. Для нахождения этих перемещений используют n условий равенства нулю перемещений по направлению неизвестных сил и m условий равенства нулю усилий по направлению m введенных дополнительных связей. По закону аддитивности воздействий каждое из указанных равных нулю перемещений по направлению неизвестных сил м. б. представлено как сумма перемещений от действия на основную систему нагрузки неизвестных сил и перемещений в отдельности. Также каждое равное нулю усилие по направлению вновь введенных связей м. б. представлено как сумма усилий от нагрузки, неизвестных сил и неизвестных перемещений. Ур-ия, составленные на основании этих соображений, носят название канонических ур-ий. Если основная система получается из изучаемой системы только путем отбрасывания связей без введения новых, то все неизвестные будут силами. Этот метод носит название метода сил. Обычно при этом число отброшенных связей равняется числу лишних и избыточных связей системы. Полученная т. о. основная система носит название основной статически определимой системы. Если основная система получается из изучаемой только путем введения новых связей, то все неизвестные будут перемещениями. Такое решение носит название метода перемещений или деформаций. Наконец метод, при к-ром за неизвестные приняты как силы, так и перемещения, м. б. назван смешанным методом. В зависимости от конфигурации сооружения и характера нагрузки выбирают тот из методов решения, те из неизвестных и наконец те из методов решения системы ур-ий, которые в данном частном случае должны дать решение наиболее короткое и сопряженное с наименьшим накоплением арифметич. погрешностей. После того как путем разрешения вышеуказанной системы ур-ий определены все лишние неизвестные, любые величины усилия или перемещения в изучаемой системе м. б. вычислены по ф-ле, согласно принципу независимости действия сил, как сумма усилий или перемещения от каждой силы или перемещения в отдельности. Ряд методов расчета статически неопределимых систем, как то: методы фокусов, угловых фокусов, не являются непосредственно частным случаем применения канонич. ур-ий, но находятся с этим методом в определенной косвенной связи.

К вводным или особым главам сопротивления материалов обычно относят разделы, посвященные неустойчивым формам равновесия и динамич. нагрузке. Из неустойчивых форм равновесия в М. с. обычно ограничиваются рассмотрением продольного изгиба. Это явление заключается в том, что при центральном сжатии прямолинейного стержня при значении сжимающих сил, превышающем нек-рую критич. величину, становятся теоретич. возможными, кроме формы равновесия с сохранением прямолинейности оси стержня, также одна или несколько форм равновесия с изогнутой осью. Однако вероятность всех кроме одной теоретически возможных форм равновесия, в том числе и прямолинейной формы, равна нулю. При этом явления в брусе при сжимающих силах, превышающих критич. значение, имеют катастрофич. характер, даже если и не будет иметь места разрушение стержня, т. к. ничтожному возрастанию нагрузки будет соответствовать весьма большое возрастание перемещений. Определение критич. грузов для стержней, загруженных по концам, дано еще Эйлером. Однако на практике к определению критич. нагрузок обычно не прибегают, а вводят при расчете сжатых стержней некоторый коэф. ослабления допускаемых напряжений. Таблицы или кривые изменений этих коэф-тов нормируются соответствующими органами, причем при составлении таких норм руководствуются также и конструктивными соображениями. К вводным главам сопротивления материалов следует также отнести разделы, посвященные динамич. действию нагрузки. Эти отделы обычно заключают в себе рассмотрение напряжений в движущихся стержнях в результате действия сил инерции, а также рассмотрение явлений при колебании систем и ударном действии на систему нагрузки.

К особым главам статики сооружений обычно относят исследование сыпучих тел. В этом разделе дисциплины, подобно тому как в отношении твердых тел, принимается условная гипотеза идеальности свойств этого тела; при рассмотрении сыпучих тел действительные сыпучие тела заменяются сыпучими телами идеальными. В отношении такого идеального сыпучего тела предполагают, что силы сцепления между его частицами полностью отсутствуют и что размеры самих частиц являются величинами весьма малыми. Далее, при определении давления на подпорную стенку такого сыпучего тела предполагается, что эта подпорная стенка находится в состоянии предельного равновесия. Задача этим предположением сводится к рассмотрению равновесия призмы обрушения сыпучего тела в момент ее предельного равновесия. Для разрешения этой задачи дополнительно вводят гипотезу, что поверхность обрушения этой призмы есть плоскость. При этом ищут не действительную величину давления на стенку, а максимально при сделанных предположениях возможную. В более сложных случаях, напр. в случае ломаной стенки, приходится еще прибегать к ряду дополнительных предположений и допущений, находящихся иногда в значительном противоречии с действительными явлениями в сыпучих телах.

Лит.: Проскуряков Л., Строит. механика, ч. 1, 7 изд., М.—Л., 1928, ч. 2, М.—Л., 1926; Велихов П. А., *Теория инж. сооружений*, вып. 1, М., 1924; Прокофьев И. П., Теория сооружений, ч. 1—2, М., 1926—28; Тимошенко С. П., Курс сопротивления материалов, 6 изд., М.—Л., 1928; Кирпичев В. Л., Сопротивление материалов, ч. 1—2, М.—П., 1923; Дружинин С. И., Теория сопротивления материалов, ч. 1—2, П., 1923;

Руднев В. И., Строит. механика, М.—Л., 1928; Кирпичев В. Л., Основания графич. статики, 5 изд., М.—Л., 1924; Гвоздев А. А., Общий метод расчета статически неопределимых систем, М., 1927; Жемочкин Б. Н., Расчет рам методом угловых фокусов, М.—Л., 1929; его же, Расчет статически неопределимых систем, Способ угловых деформаций, М.—Л., 1928; Стрелецкий Н. С., К расчету сложных статически неопределимых систем, М., 1922; Гелер В., Жесткие рамы, пер. с нем., М., 1928; Тимошенко С. П., Курс статики сооружений, ч. 1, Л., 1926; Белихов П. А., Краткий курс строительной механики, М., 1927; Белелюбский Н. А., Строит. механика, СПБ, 1897; Филоненко-Бородич М. М., Основы теории работы упругих сил в плоских системах, М., 1925; Kirchhoff R., Die Statik d. Bauwerke, 2 Aufl., B. 1—2, Berlin, 1928; Strassner A., Berechnung statisch unbestimmter Systeme, B. 1, 2 Aufl., Berlin, 1929, B. 2, Berlin, 1921; Föppl A., Vorlesungen über technische Mechanik, B. 1, 8 Aufl., B.—Lpz., 1925, B. 2, 7 Aufl., B.—Lpz., 1926; Pirlet J., Compendium der Statik der Baukonstruktionen, B. 2, T. 1—2, B., 1921—23; Lévy M., La statique graphique, partie 1, Paris, 1907, partie 2, Paris, 1913, partie 3, Paris, 1918, partie 4, Paris, 1888; Mohr O., Abhandlungen auf dem Gebiete der technischen Mechanik, 3 Auflage, Berlin, 1928.

Н. Щапов.

МЕХАНИКА ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ, учение о движении материальных тел. Если какое-либо тело с течением времени изменяет свое положение по отношению к какому-либо другому телу, называемому телом (системою) отсчета, то говорят, что первое тело находится в состоянии движения по отношению ко второму, в отличие от состояния покоя, когда относительное положение тел остается неизменным. Т. о. понятие движения содержит в себе понятие пространства, времени, перемещающегося объекта и системы отсчета. Понятия пространства и времени, являясь предметами исследования философии, обычно предполагаются в М. т. данными. Что касается перемещающегося объекта, то в действительности он не всегда является материальным телом, напр. перемещающаяся тень, смещение силовых линий в силовом поле и т. п. Движение материальных тел называется движением корпускулярным. М. т. занимается изучением только корпускулярных движений. Обычно изучение движения материальных тел начинают с изучения движения материальной точки. Под материальной точкой подразумевают в М. т. тело произвольной величины при наличии по крайней мере одной из следующих предпосылок: когда все линейные размеры тела ничтожно малы по сравнению с расстояниями от рассматриваемого тела до других тел, играющих роль в данной проблеме, или когда вращение тела не принимается во внимание, а рассматривается лишь движение центра массы (центра тяжести) тела (см. *Центр тяжести*). Так напр., рассматривая движение земного шара вокруг солнца, можно землю принимать за материальную точку, чего нельзя делать, рассматривая движение земли вокруг ее оси. Установив законы движения материальной точки, выводят затем из них законы движения системы отдельных материальных точек и сплошных материальных сред (континуумов). Допустимость последнего перехода в последнее время однако подвергается сомнению. Если все точки данной совокупности, или системы материальных точек, сохраняют свои взаимные расстояния неизменными, то система называется твердой, в противоположном случае—нетвердой. В частности, если материальные точки системы заполняют определенный объем, то такая система точек называется телом—твердым или нетвердым в зависимости от вышеуказанных признаков. В качестве системы отсчета обычно берут твердое тело, с к-рым неподвижно связаны три взаимно перпендикулярные пересекающиеся в одной точке прямые Ox, Oy, Oz, называемые осями координат. На практике телом отсчета чаще всего служит земля или какое-либо твердое тело, неподвижно с ней связанное.

Из предшествующего следует, что понятия движения и покоя суть понятия относительные и что, поскольку все известные нам системы отсчета сами находятся в движении по отношению к другим телам отсчета, нельзя говорить ни об абсолютном движении ни об абсолютном покое их. Если бы хотя одно тело находилось в состоянии абсолютного покоя, то можно было бы судить как об абсолютном, так и об относительном характере движения всех прочих тел. В 19 в. эфир—носитель световых и электромагнитных явлений—считался, за исключением малых колебаний его, абсолютно неподвижным. Этим самым создавалась такая система отсчета, по отношению к к-рой всякое движение могло быть названо движением абсолютным, а покой—абсолютным покоем. Эта точка зрения в корне опровергается современной теорией относительности, которая в числе прочих своих заключений приходит к выводу, что даже в области электромагнитных явлений не представляется возможным отличить «абсолютный» покой от равномерного поступательного движения системы. В связи с коренной ревизией понятий пространства и времени, совершенной теорией относительности Эйнштейна, М. т., основы которой были положены Ньютоном и которая называется классической, рассматривается в настоящее время как частный случай более общей системы М. т., называемой релятивистской. Выводы классич. М. т. справедливы лишь как первые приближения для корпускулярных движений, происходящих со скоростями, ничтожно малыми по сравнению со скоростью света. В дальнейшем здесь излагаются основы лишь классич. М. т.

Обычно М. т. разделяют на кинематику, статику и динамику. В кинематике рассматривают только геометрич. свойства движения, не принимая во внимание действующие силы. В статике рассматривают те условия, которым должны удовлетворять данные силы, чтобы система, к которой они приложены, находилась в покое. В динамике изучается зависимость между силами и соответствующими движениями системы материальных точек. Статику и динамику объединяют часто в один отдел—кинетику. Часто в М. т. выделяют особый отдел, т. н. геометрию масс, изучающую свойства распределения массы системы в пространстве; сюда относятся связанные с центром масс, с *моментами* инерции (см.) и т. п. вопросы.

Кинематика, рассматривает законы движения тел независимо от действующих сил.

Движение какой-либо совокупности или системы материальных точек, в частности

движение твердого тела, определяется движением всех точек, составляющих систему, вследствие чего является необходимым исследовать сначала свойства движения отдельной точки и затем лишь свойства движения какой-либо совокупности их.

Пусть имеется точка A, движущаяся по отношению к нек-рой системе отсчета, состоящей из 3 взаимно перпендикулярных осей координат Ox, Oy, Oz, имеющих начало в точке O. Каждое положение точки A по отношению к заданной системе координат определяется некоторой тройкой отрезков x, y, z, взятых со знаками (+) или (−) или, что равносильно, нек-рым радиусом-вектором $\boldsymbol{r}$, имеющим начало в O, а конец в рассматриваемом положении точки A, причем

$$\boldsymbol{r} = r\boldsymbol{r}_1, \qquad (1)$$

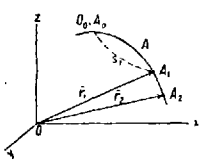
где $\boldsymbol{r}_1$—единичный вектор (орт), определяющий направление $\overline{OA}$, а r—численное значение этого отрезка (модуль). При движении точки A координаты ее x, y, z с течением времени изменяются, так что для данного движения имеют место три функциональные зависимости между координатами точки A и временем t:

$$x = f_1(t), \quad y = f_2(t), \quad z = f_3(t). \qquad (2)$$

Последние ур-ия, характеризующие данное движение точки A, называются уравнениями движения. Т. к. при движении точки A радиус-вектор $\boldsymbol{r}$ изменяется с течением времени, то $\boldsymbol{r}$—также нек-рая ф-ия t:

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}, \qquad (3)$$

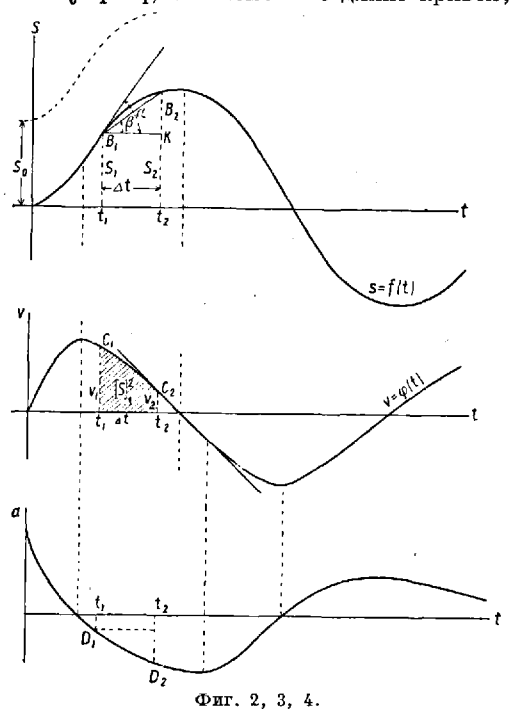
где $\boldsymbol{i}$, $\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{k}$—единичные векторы, определяющие направление осей координат, причем последнее векторное ур-ие вполне заменяет собою три ур-ия движения (2). Совокупность всех положений точки в пространстве при данном ее движении называется траекторией. Если траектория—плоская кривая, то и движение называется плоским; в этом случае для определения движения точки достаточно двух осей координат—Ox и Oy, взятых в плоскости движения. Если траектория представляет собой прямую линию, то движение называется прямолинейным; в последнем случае для определения движения точки достаточно одной оси координат Ox, совпадающей с прямолинейной траекторией точки. Прямолинейность или криволинейность движения суть также понятия относительные, зависящие от состояния, в котором пребывает сама система отсчета. На траектории следует различать две особые точки: начало отсчета O_0 длины s кривой (где $s=0$) и начальное положение A_0 точки A, т. е. то ее положение, при к-ром начался отсчет времени ($t=0$). В целях упрощения часто берут однако начало отсчета длины O_0 совпадающим с начальным положением A_0 точки (фиг. 1), так что $\smile O_0A_0 = 0$. Каждому определенному моменту t соответствует определенное значение величины $s = \smile A_0A_1$, так что s есть нек-рая ф-ия от t:



Фиг. 1.

$$s = f(t). \qquad (4)$$

Если на оси асбцисс отложить отрезки, пропорциональные истекшим промежуткам времени t, а по оси ординат отрезки, пропорциональные s, то геометрическое место получившихся точек—некоторая кривая, которая называется графиком пройденного пути (фиг. 2). Пусть в момент t_1 точка A находилась от O_0 на расстоянии $O_0A_1 = s_1$, считаемом по длине кривой,



Фиг. 2, 3, 4.

а в некоторый последующий момент t_2 на расстоянии $O_0A_2 = s_2$, так что за промежуток времени $t_2 - t_1 = \Delta t$ точка прошла по своей траектории путь $s_2 - s_1 = \Delta s$. Среднею линейною, или скалярною, скоростью $v_{ср.}$ точки A за промежуток времени Δt называется частное от деления Δs на Δt, т. ч.

$$v_{ср.} = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \qquad (5)$$

Если обозначить на графике пути точки, соответствующие положениям A_1 и A_2, через B_1 и B_2, то $v_{ср.}$ равняется тангенсу угла, образуемого отрезком B_1B_2 с положительным направлением оси t:

$$v_{ср.} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\overline{B_2K}}{\overline{B_1K}} = \operatorname{tg}\beta. \qquad (6)$$

Линейною, или скалярною, скоростью v в данный момент называется предел отношения $\frac{\Delta s}{\Delta t}$, когда Δt стремится к 0, т. е. v равняется производной s по переменному t:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}\right) = f'(t). \qquad (7)$$

Очевидно в общем случае v есть также некоторая ф-ия от t:

$$v = \varphi(t). \qquad (8)$$

Из ур-ия (7) нетрудно видеть, что на графике пути

$$v = \operatorname{tg}\alpha, \qquad (9)$$

где α есть угол, образованный касательной, проведенной к кривой в соответствующей точке, и положительным направлением оси t. Если способом, аналогичным вышеприведенному, построим кривую, выражающую функциональную зависимость (8), то получим т. наз. график скорости (фиг. 3). Интегрируя ур-ие (7), получаем:

$$s = \int v\,dt + C = \int \varphi(t)\,dt + C, \qquad (10)$$

откуда также следует, что путь $|s|_1^2$, пройденный точкой за промежуток времени от t_1 до t_2,

$$|s|_1^2 = \int_{t_1}^{t_2} v\,dt = \int_{t_1}^{t_2} \varphi(t)\,dt. \qquad (11)$$

Так как выражение, стоящее в правой части ур-ия (10), представляет собой на фиг. 3 площадь, ограниченную ординатами, проходящими через точки t_1 и t_2, частью C_1C_2 кривой и осью абсцисс, то эта площадь и равняется численно пути $|s|_1^2$. Из ур-ия (9) не трудно также видеть, что экстремальным точкам графика пути соответствуют точки пересечения графика скорости с осью t, а точкам перегиба первой кривой соответствуют экстремальные точки второй. Если в частности $v = \mathrm{Const} = V$, то такое движение называется равномерным. В последнем случае имеем из ур-ия (10):

$$s = Vt + C. \qquad (12)$$

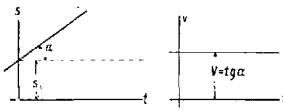
Если, при $t = t_1$, $s = s_1$, то, т. к. $C = s_1 - Vt_1$, имеем:

$$s = V(t - t_1) + s_1. \qquad (12')$$

Очевидно в этом случае график скорости будет представлен прямой, параллельной оси t, а график пути—прямой, наклоненной под углом α к оси t (фиг. 5), так что

$$\mathrm{tg}\,\alpha = V. \qquad (13)$$

Пусть в нек-рый момент t движущаяся точка находилась в положении A, определяемом по отношению к данной системе отсчета радиусом-вектором $\boldsymbol{r}$, а в некоторый последующий момент $t' = t + \Delta t$—в положении A', определяемом радиусом-вектором $\boldsymbol{r}' = \boldsymbol{r} + \Delta\boldsymbol{r}$. Среднею скоростью $\boldsymbol{v}_{cp.}$ точки за промежуток времени Δt называется выражение



Фиг. 5.

$$\boldsymbol{v}_{cp.} = \frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}. \qquad (14)$$

Истинною скоростью $\boldsymbol{v}$ точки в момент t называется предел отношения (14) при $\Delta t \to 0$, т. е. производная вектора $\boldsymbol{r}$ по времени t:

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}\right) = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}. \qquad (15)$$

Т. к. направление $\Delta\boldsymbol{r}$ в предельном положении совпадает с направлением касательной, проведенной к траектории в рассматриваемом положении точки, то направление $\boldsymbol{v}$ совпадает с направлением этой касательной; т. о. единичный вектор $\boldsymbol{v}_1$ определяет также и направление касательной τ_1, так что

$$\boldsymbol{v} = v\tau_1. \qquad (16)$$

Т. к. далее $\boldsymbol{r} = r\boldsymbol{r}_1$, то из (15) имеем:

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{d(r\boldsymbol{r}_1)}{dt} = \frac{dr}{dt}\boldsymbol{r}_1 + r\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt}. \qquad (17)$$

Т. о. вектор скорости м. б. представлен как сумма двух векторов:

$$\boldsymbol{v}_r = \frac{dr}{dt}\boldsymbol{r}_1 \qquad (18)$$

и

$$\boldsymbol{v}_p = r\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt}, \qquad (19)$$

причем первый вектор имеет направление, определяемое $\boldsymbol{r}_1$, а второй — вектором $\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt}$, т. е. вектором, перпендикулярным к первому. Скорость $\boldsymbol{v}_r$ называется радиальной скоростью, а скорость $\boldsymbol{v}_p$ — трансверсальной, или поперечной, скоростью. Так как

$$\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt} = \frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1, \qquad (20)$$

где φ—угол поворота $\boldsymbol{r}$ около O, а $\boldsymbol{p}_1$—единичный вектор, перпендикулярный $\boldsymbol{r}_1$, то

$$\boldsymbol{v}_p = r\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1. \qquad (21)$$

Абсолютные значения этих скоростей очевидно следующие:

$$v_r = \frac{dr}{dt}, \qquad (22)$$

$$v_p = r\frac{d\varphi}{dt}, \qquad (23)$$

откуда имеем также:

$$v = \sqrt{\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \left(r\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}. \qquad (24)$$

Т. к. параметры r и φ суть полярные координаты точки A (см. *Координаты*), то (24) представляет собою выражение скорости в полярных координатах. Если в частности точка A перемещается в пространстве так, что $\boldsymbol{r}_1 = \mathrm{Const}$, т. е. если A перемещается по прямой, проходящей через O, то, так как в этом случае $\frac{d\boldsymbol{r}_1}{dt} = 0$, из ур-ий (17—19) имеем:

$$\boldsymbol{v}_p = 0;\ \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_r = \frac{dr}{dt}\boldsymbol{r}_1 \qquad (17')$$

и

$$v = \frac{dr}{dt}. \qquad (17'')$$

Величина $\boldsymbol{r}$ играет в этом случае ту же роль, что и величина s в ф-ле (7), и следовательно формулы (10), (11) и (12) применимы и для прямолинейного движения с соответствующей заменой длины кривой s длиною прямолинейного отрезка r. Если же, наоборот, $r = \mathrm{Const}$, то очевидно, что точка движется по шаровой поверхности. В этом случае

$$\boldsymbol{v}_r = 0;\ \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_p = r\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1 \text{ и } v = r\frac{d\varphi}{dt}. \qquad (17''')$$

В частности точка может перемещаться по кругу. Пусть в этом случае точка переместилась за промежуток времени Δt по дуге $\Delta\varphi$, длина которой Δs. Если $\Delta\varphi$ выражена в радианах, а r—радиус окружности, то очевидно $\Delta s = r \cdot \Delta\varphi$. Частное $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ называется среднею угловою скоростью $\omega_{cp.}$ вращения точки:

$$\omega_{cp.} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Предел $\omega_{ср.}$ при $\Delta t \to 0$ называется угловой скоростью вращения ω точки в момент t:

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right) = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Т. о. (17′′′) м. б. в рассматриваемом случае представлено еще в следующем виде:

$$v = r \cdot \omega. \qquad (18')$$

Угловая скорость м. б. представлена вектором $\bar{\omega}$, проведенным из центра вращения перпендикулярно плоскости движения в такую сторону, чтобы наблюдатель, помещенный вдоль вектора, видел вращение точки происходящим по часовой стрелке. Если за промежуток времени Δt угловая скорость изменилась на $\Delta\omega$, то частное $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ называется средним угловым ускорением точки: $\theta_{ср.} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$. Предел этого отношения при $\Delta t \to 0$ называется угловым ускорением θ в момент t:

$$\theta = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\omega}{\Delta t}\right) = \frac{d\omega}{dt}.$$

Если $\theta = \text{Const}$, то движение называется равнопеременно вращательным, если же $\omega = \text{Const}$, то движение называется равномерно вращательным.

Рассмотрим движение проекций точки A по трем взаимно перпендикулярным осям координат Ox, Oy, Oz. На основании (17′′) скорости этих точек при их движении по соответствующим осям будут $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$, $\frac{dz}{dt}$. С другой стороны, модули проекций скорости v на эти оси на основании (7):

$$\left.\begin{aligned} |v_x| &= v\cos\alpha = \frac{ds}{dt}\cos\alpha \\ |v_y| &= v\cos\beta = \frac{ds}{dt}\cos\beta \\ v_z| &= v\cos\gamma = \frac{ds}{dt}\cos\gamma \end{aligned}\right\}, \qquad (25)$$

где α, β, γ—углы, образованные вектором v с положительными направлениями осей координат; т. к. $ds \cdot \cos\alpha = dx$, $ds \cdot \cos\beta = dy$, $ds \cdot \cos\gamma = dz$, то из (18) имеем:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= |v_x| = \frac{dx}{dt} \\ v_y &= |v_y| = \frac{dy}{dt} \\ v_z &= |v_z| = \frac{dz}{dt} \end{aligned}\right\}, \qquad (26)$$

т. е. скорости проекций точки A на три оси координат равняются соответствующим проекциям скорости на эти же оси. Эти проекции скорости называются ее компонентами по рассматриваемым осям. При условии ортогональности осей имеем:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}. \qquad (26')$$

Зная ур-ия движения (2), можно ф-лы (26) и (26′) написать еще и так:

$$v_x = f_1'(t);\quad v_y = f_2'(t);\quad v_z = f_3'(t);$$

$$v = \sqrt{[f_1'(t)]^2 + [f_2'(t)]^2 + [f_3'(t)]^2}.$$

Моментом скорости v по отношению к некоторой точке C называется вектор, модуль к-рого равняется произведению v на длину d перпендикуляра, опущенного из C на линию действия v, а направление определяется направлением перпендикуляра, восставленного к плоскости S, образованной v и C, в такую сторону, чтобы наблюдатель, помещенный вдоль него в точке C, видел v направленным по часовой стрелке (фиг. 6). Т. к. длина перпендикуляра d, или плечо, равняется $d = r\sin\alpha$, где α—угол между v и r_c, то, обозначая момент скорости через M, имеем:

$$M = v \cdot d = v \cdot r \cdot \sin\alpha$$

и

$$M = [v \cdot r_c]. \qquad (27)$$

Помещая начало отсчета O в точке C, имеем $r_c = -r$, где $r = \vec{CA}$, и следовательно

$$M = [r \cdot v]. \qquad (27')$$

Рассмотрим площадь $\Delta\sigma$, ометаемую подвижным радиусом-вектором r за промежуток времени Δt до положения его r', так что $\measuredangle (r, r') = \Delta\varphi$. Предел отношения $\frac{\Delta\sigma}{\Delta t}$ при $\Delta t \to 0$ называется секториальной скоростью v точки; т. о.

$$v = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta t}\right) = \frac{d\sigma}{dt}. \qquad (28)$$

Секториальная скорость м. б. представлена в виде вектора $\bar{v}$, проведенного перпендикулярно к плоскости, проходящей через r и r', где r'—последующий во времени радиус-вектор, бесконечно близкий к r, причем обычно направление $\bar{v}$ выбирают так, чтобы наблюдатель, помещенный вдоль v в начале отсчета O, видел вращение r происходящим по часовой стрелке. Так как

$$d\sigma = \tfrac{1}{2} r^2\, d\varphi = \tfrac{1}{2} l\, ds, \qquad (29)$$

где ds—длина элемента дуги, а l—длина перпендикуляра, опущенного из O на ds то, принимая во внимание (28) и (23), имеем:

$$v = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{2} r v_p = \frac{1}{2}\frac{ds}{dt} \cdot l = \frac{1}{2} v \cdot l. \qquad (30)$$

Т. к., с другой стороны, $d\sigma = \frac{1}{2}|[r \cdot dr]|$, то

$$\bar{v} = \frac{1}{2}\left[r \cdot \frac{dr}{dt}\right] = \frac{1}{2}\left[r \cdot v\right], \qquad (31)$$

и следовательно, принимая во внимание (27′), получаем:

$$2\bar{v} = M, \qquad (32)$$

т. е. момент скорости v относительно некоторого центра равен удвоенной секториальной скорости движущейся точки относительно того же центра. Если отложить от одной и той же точки векторы скорости движущейся точки при различных ее положениях, то геометрич. место концов этих векторов образует кривую, называемую *годографом скорости* (см.).

Пусть за промежуток времени Δt линейная скорость изменилась на величину Δv. Средним линейным, или скалярным, ускорением $a_{ср.}$ называется частное $\frac{\Delta v}{\Delta t}$, так что

$$a_{ср.} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \qquad (33)$$

Линейным, или скалярным, ускорением a точки A в момент t называется предел отношения (33) при $\Delta t \to 0$, т. е. производная v по времени t:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right) = \frac{dv}{dt}, \qquad (34)$$

или, принимая во внимание (7),

$$a = \frac{d^2s}{dt^2} = f''(t). \qquad (35)$$

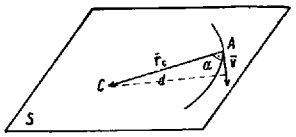
Средним полным, или средним векторным, ускорением $a_{ср.}$ называется частное $\frac{\Delta v}{\Delta t}$, где Δv—изменение скорости v за промежуток времени Δt, так что

$$a_{ср.} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \qquad (36)$$

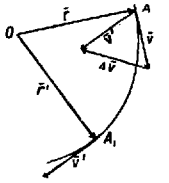
Полным, или векторным, ускорением a в момент t называется предел отношения (36) при $\Delta t \to 0$, так что

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right) = \frac{dv}{dt}. \qquad (37)$$

Так как $a_{ср.}$—вектор, направленный внутрь кривизны кривой (фиг. 7), то и полное ускорение a всегда направлено внутрь кривизны траектории. Принимая во внимание (15), имеем также



Фиг. 6.



Фиг. 7.

$$a = \frac{d^2r}{dt^2}, \qquad (38)$$

или, принимая во внимание (3), имеем:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} i + \frac{d^2y}{dt^2} j + \frac{d^2z}{dt^2} k.$$

Таким образом вектор a равен сумме следующих трех компонент, направленных по осям координат:

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} i; \quad a_y = \frac{d^2y}{dt^2} j; \quad a_z = \frac{d^2z}{dt^2} k.$$

Модули этих векторов, равные

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{d^2z}{dt^2},$$

представляют линейные ускорения проекций точки на осях координат. При $a = \text{Const}$ движение называется равнопеременным; при этом, если $a > 0$, то движение называется равноускоренным, если же $a < 0$, то движение называется равнозамедленным. При $a = \text{Const}$ движение очевидно будет не только равнопеременным, но и прямолинейным. Далее при $a = \text{Const}$ имеем из (34) и (7):

$$\int dv = \int a\, dt; \quad v = at + C_1, \qquad (39)$$

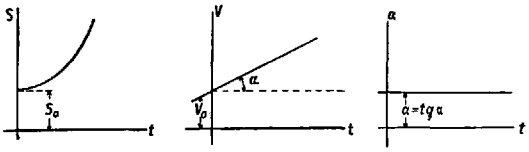
$$s = \int v\, dt = \int (at + C_1)\, dt = \tfrac{1}{2}at^2 + C_1 t + C_2, \qquad (40)$$

где C_1 и C_2 суть некоторые произвольные постоянные, которые м. б. определены, если величины v и s, соответствующие какимнибудь определенным значениям t, даны. Так, если в начальный момент, т. е. при $t = 0$, $v = v_0$, $s = s_0$, то из (39) имеем $C_1 = v_0$, а из (40) $C_2 = s_0$, так что ф-лы (39) и (40) принимают следующий частный вид:

$$v = v_0 + at, \qquad (39')$$

$$s = s_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2. \qquad (40')$$

Если построить кривую, выражающую функциональную зависимость (34) между a и t, точно таким же способом, каким выше был построен график скорости, то мы получим график ускорения (фиг. 4). Т. к. на основании (34) и (7) между a и v существует точно такая же зависимость, как между v и s, то между графиками ускорения и скорости существует очевидно точно такая же связь, как между графиками скорости и пути. Т. о. имеем: 1) тангенс угла наклона отрезка C_1C_2, соединяющего две точки C_1 и C_2 графика скорости, равняется среднему линейному ускорению за соответствующий промежуток времени; 2) тангенс угла наклона касательной, проведенной к графику скорости, равняется линейному ускорению точки в соответствующий момент; 3) площадь, ограниченная дугой D_1D_2 графика ускорений, ординатами, проходящими через точки t_1 и t_2, и осью t, численно равна приращению скорости за промежуток времени Δt от t_1 до t_2; 4) точкам пересечения графика ускорения с осью t соответствуют экстремальные точки графика скорости, а экстремальным точкам первой кривой соответствуют точки перегиба второй. Если в частности движение равнопеременно, то график ускорений представляет собой прямую, параллельную оси t (фиг. 8). График скорости представляет в этом случае на основании (39′) наклонную прямую, отсекающую на оси v отрезок равный v_0 и имеющую tg угла наклона равный



Фиг. 8.

a, а график пути на основании (40′)—параболу, имеющую своей осью ось ординат и отсекающую на последней отрезок s_0.

Пусть радиус кривизны траектории в точке A равен ϱ (фиг. 9), а направление центра кривизны C от A определяется ортом ϱ_1, так что

$$\overrightarrow{AC} = \bar{\varrho} = \varrho\bar{\varrho}_1. \qquad (41)$$

Если τ_1—орт, определяющий направление касательной, проведенной к кривой в точке A в сторону возрастания дуг, то

$$\frac{d\bar{\tau}_1}{ds} = \frac{1}{\varrho} \cdot \bar{\varrho}_1, \qquad (42)$$

где $\frac{1}{\varrho}$ —кривизна траектории в точке A. Из (16), (42) и (7) имеем следовательно:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(v\bar{\tau}_1)}{dt} = \frac{dv}{dt}\bar{\tau}_1 + v\frac{d\bar{\tau}_1}{dt} = \frac{dv}{dt}\bar{\tau}_1 + v\frac{d\bar{\tau}_1}{ds}\frac{ds}{dt} =$$

$$= \frac{dv}{dt} \cdot \tau_1 + \frac{v^2}{\varrho} \cdot \varrho_1. \qquad (43)$$

Таким образом вектор ускорения равняется сумме двух векторов

$$a_t = \frac{dv}{dt} \cdot \tau_1 \qquad (44)$$

и

$$a_n = \frac{v^2}{\varrho} \cdot \bar{\varrho}_1, \qquad (45)$$

причем первый вектор имеет направление, определяемое $\bar{\tau}_1$, т. е. имеет направление касательной, а второй—направление $\bar{\varrho}_1$, т. е. направление от A к центру кривизны C. Первый вектор называется поэтому тангенциальным ускорением, а второй—нормальным ускорением. Модули этих векторов соответственно равны:

$$a_t = \frac{dv}{dt}, \qquad (44')$$

$$a_n = \frac{v^2}{\varrho}, \qquad (45')$$

а линейное ускорение

$$a = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\varrho}\right)^2}. \qquad (46)$$

Из (43) видно, что вектор $\boldsymbol{a}$ лежит в плоскости, образованной касательной и главной нормалью, т. е. лежит в соприкасающейся плоскости. Т. к. бинормаль перпендикулярна к этой плоскости, то компонента по бинормали $\boldsymbol{a}_b$ всегда равна нулю:

$$\boldsymbol{a}_b = 0. \qquad (47)$$

Если точка движется прямолинейно, то $\varrho = \infty$, и по (45) имеем $\boldsymbol{a}_n = 0$, так что в этом случае $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_t = \frac{dv}{dt}\bar{\tau}_1$ и $a = a_t = \frac{dv}{dt}$. Если к тому же точка движется еще и равномерно, то $\boldsymbol{a} = 0$, т. е. $\frac{dv}{dt} = 0$. Если точка движется по окружности радиуса R, то, так как $\varrho = R = \text{Const}$, из (44'), (45') и (46) следует:

$$a_t = R\frac{d\omega}{dt} = R\cdot\theta, \qquad (44'')$$

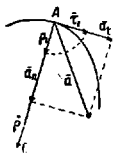
$$a_n = R\omega^2, \qquad (45'')$$

$$a = R\sqrt{\left(\frac{d\omega}{dt}\right)^2 + \omega^4}. \qquad (46')$$

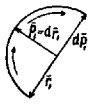
Если к тому же точка движется еще и равномерно, то, так как в этом случае $v = \text{Const}$ и $\frac{dv}{dt} = 0$, из (44), (43) и (45) имеем:

$$a_t = 0; \quad \boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_n = \frac{v^2}{\varrho}\bar{\varrho}_1 = R\omega^2\cdot\bar{\varrho}_1.$$

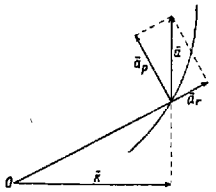
Т. о. при равномерном круговом движении полное ускорение в любом положении точки



Фиг. 9.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

направлено по нормали, т. е. направление $\boldsymbol{a}$ все время проходит через центр окружности. Последнее движение представляет собой частный вид т. н. центральных движений, т. е. таких движений, при которых направление полного ускорения в любом положении точки проходит через один и тот же центр. Из формул (17), (20) и (21) имеем далее:

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dr}{dt}\boldsymbol{r}_1\right) + \frac{d}{dt}\left(r\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1\right) =$$

$$= \frac{d^2r}{dt^2}\boldsymbol{r}_1 + \frac{dr}{dt}\cdot\frac{dr_1}{dt} + \frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{p}_1 + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\boldsymbol{p}_1 + r\frac{d\varphi}{dt}\cdot\frac{d\boldsymbol{p}_1}{dt}. \qquad (48)$$

Так как $\boldsymbol{p}_1 \perp \boldsymbol{r}_1$, а $d\boldsymbol{p}_1 \perp \boldsymbol{p}_1$, причем $\boldsymbol{p}_1$ и $d\boldsymbol{p}_1$ вращаются от $\boldsymbol{r}_1$ в одну и ту же сторону (фиг. 10) и так как $|d\boldsymbol{p}_1| = d\varphi$, то

$$\frac{d\boldsymbol{p}_1}{dt} = -\frac{d\varphi}{dt}\boldsymbol{r}_1,$$

так что (48) принимает следующий вид:

$$\boldsymbol{a} = \left\{\frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right\}\boldsymbol{r}_1 + \left\{2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right\}\boldsymbol{p}_1. \qquad (49)$$

Т. о. вектор $\boldsymbol{a}$ разложен на две компоненты:

$$\boldsymbol{a}_r = \left\{\frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right\}\boldsymbol{r}_1 \qquad (50)$$

и

$$\boldsymbol{a}_p = \left\{2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right\}\boldsymbol{p}_1, \qquad (51)$$

из к-рых первый, имеющий направление $\boldsymbol{r}_1$, определяет радиальное ускорение, а второй вектор, имеющий направление, перпендикулярное к первому, определяет поперечное ускорение. Так как модули этих векторов

$$a_r = \frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2, \qquad (50')$$

$$a_p = 2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}, \qquad (51')$$

то

$$a = \sqrt{\left[\frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right]^2 + \left[2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right]^2}, \qquad (52)$$

что дает выражение a в полярных координатах r и φ. Секториальным ускорением μ называется производная по времени от секториальной скорости v, т. ч.

$$\mu = \frac{dv}{dt}. \qquad (53)$$

Принимая во внимание (30) и (51'), имеем из (53):

$$\mu = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}\left(r^2\frac{d\varphi}{dt}\right) = \frac{1}{2}r\left\{2\frac{dr}{dt}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + r\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right\} = \frac{1}{2}ra_p, \qquad (54)$$

и так как

$$ra_p = ka,$$

где k — расстояние от O до линии действия $\boldsymbol{a}$ (фиг. 11), то

$$\mu = \frac{1}{2}a\cdot k. \qquad (54')$$

Если движение центральное и если начало отсчета взять в центре движения O, то в этом случае линия действия $\boldsymbol{a}$ в любой момент должна проходить через O, и значит $k=0$ и $\mu=0$, а следовательно $v=\text{Const}$. Таким образом при всяком центральном движении секториальная скорость постоянна, т. е., другими словами, площадь, ометаемая подвижным радиусом-вектором, пропорциональна времени. Не трудно доказать также, что всякое центральное движение—движение плоское.

Исследовав законы движения отдельной точки, можно перейти к исследованию движения механической системы точек, т. е. такой совокупности их, в которой движение каждой точки определенным образом зависит от движения остальных. В частности механич. система называется системой твердой, если взаимные расстояния точек при движении системы остаются неизменными. Допустим, что система состоит из n точек. Т. к. положение каждой точки определяется 3 координатами, то положение всей системы определяется $3n$ координатами $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \ldots, x_n, y_n, z_n$. При движении системы все эти координаты суть нек-рые ф-ии

времени t. Зависимости между точками системы обусловливаются силами взаимодействия их или связями, т. е. такими условиями движения, к-рые налагают ограничения либо только на положение точек либо также на их скорости. В первом случае связи называются геометрическими, а во втором — кинематическими. Каждая геометрич. связь выражается ур-ием вида:

$$f(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \ldots, x_n, y_n, z_n, t) = 0, \quad (55)$$

а кинематич. связь—ур-ием вида:

$$\varphi\left(x_1, y_1, z_1, \ldots, x_n, y_n, z_n, \frac{dx_1}{dt}, \frac{dy_1}{dt}, \frac{dz_1}{dt}, \ldots, \frac{dz_n}{dt}, t\right) = 0. \quad (56)$$

Допустим, что между n точками данной механической системы существует k геометрических связей:

$$f_i(x_1, y_1, z_1, \ldots, x_n, y_n, z_n, t) = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \ldots, k). \quad (57)$$

Тогда из $3n$ координат $3n-k$ будут независимы, а остальные k координат определяются через них из ур-ий (57). Эти независимые координаты называются также координатами системы; число их определяет так называемую степень свободы системы (см. *Координаты*).

Всякое движение твердой системы точек, и в частности твердого тела, м. б. сведено к двум основным видам движения: поступательному и вращательному. Поступательным движением называется такое движение, при к-ром любая прямая, соединяющая две какие-либо точки системы, остается во время движения последней параллельной сама себе. Так, если прямая, соединяющая точки A и B, занимала положение A_1B_1, то спустя промежуток времени она займет положение $A_2B_2 \parallel A_1B_1$. Так как

$$\Delta r_A = \Delta r_B, \quad (58)$$

где

$$\Delta r_A = \overrightarrow{A_1A_2}; \quad \Delta r_B = \overrightarrow{B_1B_2},$$

то

$$\lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta r_A}{\Delta t}\right) = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta r_B}{\Delta t}\right),$$

т. е.

$$v_A = v_B. \quad (59)$$

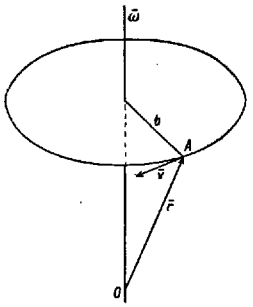
Т. о. при поступательном движении все точки системы имеют в данный момент равные скорости. Очевидно, что при поступательном движении траектории всех точек системы представляют собой конгруентные кривые. Способом, аналогичным вышеприведенному, получим, что

$$a_A = a_B, \quad (60)$$

т. е. что полные ускорения всех точек системы в данный момент между собою равны.

Вращательным движением тела называется такое движение, при к-ром две из его точек, A и B, остаются неподвижными. Нетрудно видеть, что в этом случае и все точки, лежащие на прямой AB, называемой осью вращения, будут также неподвижны. При вращательном движении очевидно каждая точка, за исключением точек, лежащих на оси вращения, движется в плоскости, перпендикулярной к оси вращения, по окружности, центр к-рой находится на этой же оси.

Угол поворота $\Delta\varphi$ тела за какой-нибудь промежуток времени Δt определяется дуговым перемещением какой-нибудь из его точек за тот же промежуток времени, вследствие чего угловая скорость ω и угловое ускорение θ какой-либо точки тела определяют соответственно эти же величины и для вращающегося тела. Угловая скорость м. б. вышеуказанным способом представлена при помощи вектора $\bar{\omega}$ на оси вращения тела. Пусть движущаяся точка вращающегося тела занимает на окружности положение A, определяемое по отношению к началу отсчета O, взятому на оси вращения, радиусом-вектором r (фиг. 12). Так как по (18′) $v = b \cdot \omega$, где b — радиус окружности, и так как $b = r \sin(\bar{\omega}, r)$, то



Фиг. 12.

$$v = \omega r \sin(\bar{\omega}, r) \quad (61)$$

и следовательно

$$v = [\omega r]. \quad (62)$$

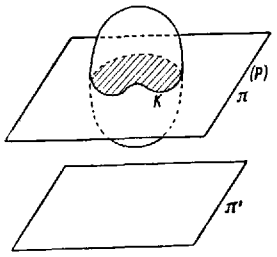
Если модули проекций вектора $\bar{\omega}$ на три произвольные ортогональные оси координат с началом O обозначим через p, q, r, а модули проекций r на те же оси через x, y, z, то, пользуясь формулой проекции векторного произведения (см. *Векторное исчисление*), имеем:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= qz - ry \\ v_y &= rx - pz \\ v_z &= py - qx \end{aligned}\right\}. \quad (63)$$

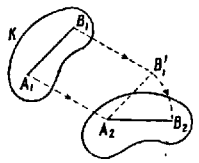
Это—т. н. ф-лы Эйлера. В общем случае вектор $\bar{\omega}$ меняет как величину, так и направление, определяемое $\bar{\omega}_1$, и каждому моменту времени соответствует определенная мгновенная ось вращения. В частности ω может менять лишь свой модуль, т. е. менять лишь свою угловую скорость, сохраняя одну и ту же ось вращения. В последнем случае вращательное движение называется перманентным.

Плоскопараллельным движением твердого тела называется такое его движение, когда все точки тела описывают плоские траектории, лежащие в плоскостях, параллельных некоторой неподвижной основной плоскости. В этом случае очевидно имеем: 1) все точки тела при своем движении остаются на неизменном расстоянии от основной плоскости, 2) если данное тело находится в плоскопараллельном движении по отношению к плоскости π', то оно находится в таком же движении и по отношению к любой другой плоскости π, параллельной первой (фиг. 13). Следовательно можно основную плоскость π всегда выбрать так, чтобы она пересекала данное тело по нек-рому контуру K. Зная положение контура K на теле и в основной плоскости, можно определить и положение тела в пространстве. Т. о. исследование рассматриваемого движения тела сводится к исследованию движения контура K в плоскости

π, т. е., что то же самое, движения подвижной плоскости p, связанной с K, в плоскости π. С другой стороны, положение плоской фигуры, ограниченной контуром K, в плоскости π определяется положением двух произвольных ее точек A и B или отрезком AB, так что в свою очередь определение движения плоской фигуры K сводится к определению движения отрезка AB в плоскости π. Отсюда нетрудно притти к следующим

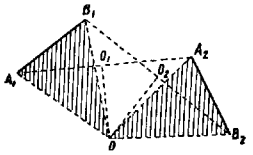


Фиг. 13.

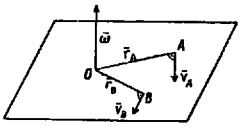


Фиг. 14.

выводам: 1) Из любого предшествующего положения плоской фигуры K, находящейся в плоскости π, можно привести ее в любое последующее положение в той же плоскости при помощи одного поступательного и одного вращательного движения, или наоборот. В самом деле, если первое положение фигуры определяется положением отрезка A_1B_1 (фиг. 14), а второе положение—тем же отрезком, но в положении A_2B_2, то можно сначала переместить отрезок A_1B_1 параллельно самому себе до $A_2B'_1$, а затем повернуть последний отрезок до положения A_2B_2. При первом движении отрезка плоская фигура будет перемещаться поступательно, а при втором—вращательно. Порядок этих движений очевидно м. б. изменен. 2) Из всякого положения плоской фигуры в плоскости π можно



Фиг. 15.



Фиг. 16.

привести ее в любое другое положение в той же плоскости при помощи одного вращения около нек-рого центра O. В самом деле, пусть имеются два положения плоской фигуры, определяемые положениями A_1B_1 и A_2B_2 отрезка AB, так что $A_1B_1=A_2B_2$ (фиг. 15). Проведя прямые A_1A_2 и B_1B_2 и восставив из их середин O_1 и O_2 перпендикуляры, получим в пересечении этих перпендикуляров точку O; $\triangle A_1OB_1=\triangle A_2OB_2$, т. к. $A_1B_1=A_2B_2$, $A_1O=A_2O$, $B_1O=B_2O$. Т. о., вращая $\triangle A_1OB_1$ около точки O, можно его привести в положение A_2OB_2, т. е. привести A_1B_1 в положение A_2B_2. Точка O представляет собой центр вращения, соответствующий двум рассматриваемым отдельным положениям плоской фигуры. Если центр вращения соответствует двум бесконечно близким положениям плоской фигуры, то он называется мгновенным. Мгновенный центр вращения занимает определенное положение как в плоскости π, так и в плоскости p, перемещающейся вместе с фигурой. Т. к. движение плоской фигуры состоит в непрерывном переходе от одного положения к бесконечно близкому к нему другому положению, то этому движению соответствует бесконечно большое число мгновенных центров вращения, непрерывно следующих друг за другом. Геометрич. место мгновенных центров вращения в плоскости π называется неподвижной полодией, или центроидой, а в плоскости p—подвижной полодией. Эти кривые соприкасаются всегда в точке, представляющей мгновенный центр вращения в данный момент. Если же бесконечно малое вращение происходит около мгновенного центра вращения O_2, то принадлежащие плоскостям π и p две точки O'_1 и O''_1, совпадавшие в предшествующем центре вращения O_1, разойдутся; при этом $\cup O'_1O_2=\cup O''_1O_2$; это указывает на то, что при движении плоской фигуры подвижная полодия перемещается, и притом без скольжения, по неподвижной полодии. Каждому определенному движению фигуры соответствует определенная пара полодий. Если подвижную полодию сделать неподвижной, а неподвижную—подвижной, то движение плоскости π по отношению к p называется движением обращенным по сравнению с первым. В общем обращенное движение совершенно отлично от данного. Так, если прямая перемещается в плоскости, касаясь данной окружности, то каждая точка подвижной плоскости описывает эвольвенту круга, а если, наоборот, окружность катится по прямой, то каждая точка плоскости описывает циклоиду. Траектория какой-либо точки подвижной плоскости p по отношению к неподвижной π называется рулеттой.

Угловая скорость вращения плоскости p около мгновенного центра вращения называется мгновенной угловой скоростью. Очевидно все точки плоскости обладают в данный момент одной и той же мгновенной угловой скоростью. Пусть имеем в плоскости p две точки A и B, положение к-рых относительно системы отсчета с началом в мгновенном центре вращения O определяется $\boldsymbol{r}_A$ и $\boldsymbol{r}_B$. Из ур-ия (62) имеем:

$$\boldsymbol{v}_A=[\boldsymbol{\omega}\boldsymbol{r}_A];\ \boldsymbol{v}_B=[\boldsymbol{\omega}\boldsymbol{r}_B], \qquad (64)$$

где $\boldsymbol{v}_A$ и $\boldsymbol{v}_B$—скорости точек A и B в данный момент (фиг. 16). Т. к. $\boldsymbol{\omega}\perp\boldsymbol{r}_A$ и $\boldsymbol{\omega}\perp\boldsymbol{r}_B$, то из уравнения (64) имеем также: $v_A=\omega r_A$, $v_B=\omega r_B$ и

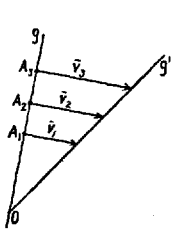
$$\frac{v_A}{v_B}=\frac{r_A}{r_B}. \qquad (65)$$

Т. о. из ур-ий (64) и (65) имеем: 1) скорости всех точек плоскости p перпендикулярны к прямым, соединяющим их с мгновенным центром вращения; 2) величины скоростей пропорциональны расстояниям от соответствующих точек до мгновенного центра вращения. Отсюда следует далее, что концы векторов скоростей для точек прямой, проходящей через мгновенный центр вращения O (фиг. 17), лежат на прямой, также проходящей через O, т. к. лишь в этом случае величины векторов скоростей $\boldsymbol{v}_1$, $\boldsymbol{v}_2$, ... пропорциональны расстояниям A_1O, A_2O, ... Если повернуть векторы скорости $\boldsymbol{v}_A$ и $\boldsymbol{v}_B$ (фиг. 18) в одну и

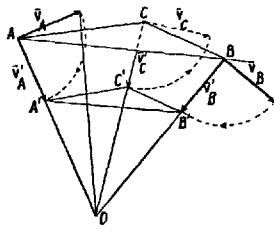
ту же сторону на 90°, то получаются т. н. ортогональные скорости v'_A и v'_B. Т. к. на основании ур-ия (65)

$$\frac{v_A}{r_A}=\frac{v_B}{r_B},\ \text{то}\ \frac{v'_A}{r_A}=\frac{v'_B}{r_B}.$$

Отсюда следует, что, соединив концы A' и B' ортогональных скоростей, получаем прямую $A'B'$, параллельную AB. Это соображение дает легкий способ построения скорости и любой другой точки C. Для этого достаточно соединить C с A и B и из точек A' и B' провести прямые $A'C' \parallel AC$ и $A'B' \parallel AB$; $\overrightarrow{CC'}=v'_C$ дает ортогональную скорость точки C, так что, повернув v'_C на 90° в сторону, противоположную прежней, получим v_C. Очевидно, если C лежит на AB, то C' лежит на $A'B'$. Т. о., если прямая g (фиг. 19) не проходит через мгновенный центр вращения, то концы векторов ортогональных скоростей точек прямой g лежат на одной прямой, параллельной g, причем все ортогональные скорости пересекаются в точке O. Проектируя ортогональные скорости v'_A, v'_B, v'_C, ... на перпендикулярное к g направление g_n, получим одинаковые проекции, и т. к. эти скорости



Фиг. 17.



Фиг. 18.

суть повернутые на 90° истинные скорости v_A, v_B, v_C и т. д., то проекции последних по направлению g также равны между собой.

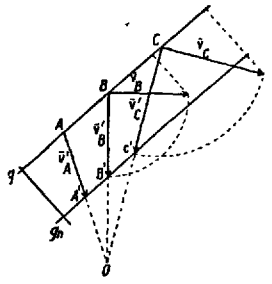
Что касается ускорения точек плоскости p, то, так как по ур-ию (46) ускорение каждой точки зависит от радиуса кривизны ϱ ее траектории, необходимо предварительно рассмотреть зависимость между ϱ и другими элементами движения. Возьмем какую-нибудь точку плоскости, перемещающуюся по траектории T (фиг. 20), и рассмотрим два бесконечно близких положения ее при увеличении времени на величину dt. Нормали AK и $A'K$, восставленные к T в точках A и A', пересекаются в центре кривизны K и пересекают неподвижную полодию S в точках P и P'. Пусть $\overline{AP}=l$; $\overline{PK}=c$; $\smile PP'=d\sigma$; $\smile AA'=ds$; далее $\sphericalangle AKA'=d\tau$; $\sphericalangle APA'=d\varphi$; $\sphericalangle NPA=\alpha$, где NP нормаль к S в точке P. Проведя радиусом KP дугу PB, имеем:

$$\frac{\smile PB}{\smile AA'}=\frac{d\sigma\cdot\cos\alpha}{ds}=\frac{\overline{KP}}{\overline{KA}}=\frac{c}{l\pm c},\qquad(66)$$

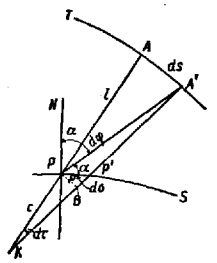
причем знак минус следует взять, если K лежит между P и A; так как $ds=l\cdot d\varphi$, то

$$\frac{d\sigma}{d\varphi}\cdot\frac{\cos\alpha}{l}=\frac{c}{l\pm c}\ \text{или}\ \left(\frac{1}{c}\pm\frac{1}{l}\right)\cos\alpha=\frac{d\varphi}{d\sigma}=\frac{1}{d}.\qquad(67)$$

Величины в левой части ур-ия (67) зависят от выбранной на плоскости p точки, в то время как $\frac{d\varphi}{d\sigma}$ имеет в данный момент одно и то же значение для всех точек p, вращающихся около мгновенного центра P. В следующий момент $\frac{d\varphi}{d\sigma}$ изменит в общем свое значение, но новое значение опять будет одним и тем же для всех точек p, так что $\frac{d\varphi}{d\sigma}$ есть нек-рая ф-ия от t. Т. к. l и α суть полярные координаты точки A, то геометрич. место точек, для к-рых $\frac{\cos\alpha}{l}=\text{Const}$, есть проходящая через точку P окружность с центром на нормали N,



Фиг. 19.

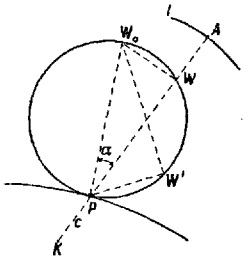


Фиг. 20.

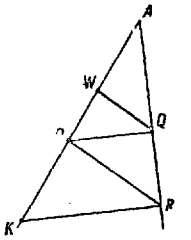
Из ур-ия (67) видно, что и $\frac{\cos\alpha}{c}$ в данный момент также постоянно для всех точек, для которых и $\frac{\cos\alpha}{l}=\text{Const}$, т. е. представляет также окружность. Обе эти окружности соприкасаются в той же точке P, что и полодии. Т. о. центры кривизны траекторий всех точек, лежащих на окружности, проходящей через P, также лежат на окружности, проходящей через P. В частности, если $\overline{PK}=c=\infty$, то из ур-ия (67) имеем:

$$\frac{l}{\cos\alpha}=d,\qquad(68)$$

что представляет собой геометрич. место точек, траектории которых имеют в данный момент $\varrho=\infty$, т. е. точек, проходящих в данный момент через точки поворота. Геометрич. место точек, представляемое ур-ием (68), есть окружность диаметра d, проходящая через P и называющаяся поворотным кругом. Соответствующая поворотному кругу окружность $\frac{c}{\cos\alpha}=\text{Const}$ превратилась в бесконечно удаленную прямую. Если на поворотном круге взять какую-ни-



Фиг. 21.



Фиг. 22.

будь точку W (фиг. 21), то т. к. мгновенное вращение точки W происходит около P, т. е. в направлении, перпендикулярном к WP, отрезок W_0W, дающий направление поворотной касательной, проходит через W_0—крайнюю точку диаметра d поворотного круга, называемую полюсом поворота. Т. о. все поворотные касательные проходят через точку W_0. Проведя из точки A

плоскости p прямую AP, на которой лежит и центр кривизны K траектории T, и обозначив $PW = u$, имеем $u = d\cos\alpha$, а из уравнения (67) получаем:

$$\frac{1}{c} \pm \frac{1}{l} = \frac{1}{u}$$

или

$$\frac{l \pm c}{c} = \frac{l}{u}, \qquad (69)$$

что дает возможность найти ϱ и K для точки A, если W и P известны; для этого следует соединить какую-нибудь точку Q с точками A, W и P (фиг. 22) и провести из P прямую $PR \parallel WQ$ до ее пересечения с AQ в точке R, затем из R следует провести $R \parallel KPQ$ до ее пересечения с AP в точке K, к-рая и представляет собой центр кривизны. В самом деле,

$$\frac{\overline{AK}}{\overline{PK}} = \frac{\overline{AR}}{\overline{QR}} = \frac{\overline{AP}}{\overline{WP}}, \text{ или } \frac{l \pm c}{c} = \frac{l}{u}.$$

Скорость w, с какою мгновенный центр вращения перемещается по S, равняется $\frac{d\sigma}{dt}$, так что

$$w = \frac{d\sigma}{dt}. \qquad (70)$$

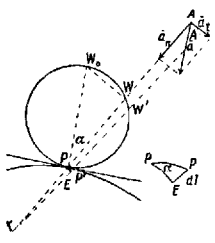
Эту скорость не следует смешивать со скоростью точки P, принадлежащей плоскости p и имеющей скорость равную 0. С другой стороны, имеем:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \qquad (71)$$

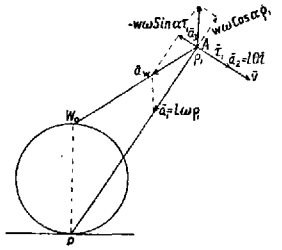
так что, деля (70) на (71), имеем на основании ур-ия (67):

$$d = \frac{w}{\omega}. \qquad (72)$$

Т. о. скорость перемещения мгновенного центра вращения равняется произведению



Фиг. 23.



Фиг. 24.

из диаметра поворотного круга на мгновенную угловую скорость.

Пусть скорость точки A равняется v, так что $v \perp AP$, а ускорение равно a. Разлагая a на две компоненты: a_n—по направлению AP, а a_t — по направлению перпендикулярному, имеем на основании ур-ия(45′):

$$a_n = \frac{v^2}{\varrho} = \frac{\overline{AP}^2 \cdot \omega^2}{\varrho^2} = \frac{l^2\omega^2}{\varrho^2} = \frac{l^2}{l+c}\omega^2; \qquad (73)$$

или, т. к. на основании ур-ия (69)

$$\overline{AW} = l - u = \frac{l^2}{l+c},$$

то $a_n = \overline{AW} \cdot \omega^2$; с другой стороны, $\overline{AW} = \overline{AP} - \overline{WP} = l - d\cos\alpha$, так что на основании ур-ия (72)

$$a_n = (l - d\cos\alpha)\,\omega^2 = l\omega^2 - w\omega\cos\alpha. \qquad (74)$$

Из ур-ий (44′) и (18′) имеем также:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega l)}{dt} = \omega\frac{dl}{dt} + l\frac{d\omega}{dt}.$$

При перемещении точки из A в A' прямая $A'K$ пересекает S уже в новой точке P', так что $\smile PP' = d\sigma$, а отрезок $l = AP$ уменьшается на величину $P'E = dl$ (фиг. 23); следовательно

$$\frac{dl}{dt} = -\frac{d\sigma}{dt}\sin\alpha = -w\sin\alpha = -\omega \cdot d \cdot \sin\alpha.$$

Таким образом

$$a_t = l\frac{d\omega}{dt} - d\cdot\omega^2\cdot\sin\alpha = l\theta - w\omega\sin\alpha, \qquad (75)$$

где θ—мгновенное угловое ускорение плоскости p, или, пользуясь (44) и (45), имеем из (74) и (75):

$$\boldsymbol{a} = (l\omega^2 - w\omega\cos\alpha)\,\bar{\varrho}_1 + (l\theta - w\omega\sin\alpha)\,\bar{\tau}_1 =$$
$$= l\omega^2\bar{\varrho}_1 + l\theta\,\bar{\tau}_1 - w\omega\cos\alpha\cdot\bar{\varrho}_1 - w\omega\sin\alpha\cdot\bar{\tau}_1. \qquad (76)$$

Т. о. $\boldsymbol{a}$ состоит из трех компонент (фиг. 24):

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{a}_1 &= l\omega^2\bar{\varrho}_1 \\ \boldsymbol{a}_2 &= l\theta\,\bar{\tau}_1 \\ \boldsymbol{a}_3 &= -w\omega\cos\alpha\cdot\bar{\varrho}_1 - w\omega\sin\alpha\cdot\tau_1 \end{aligned}\right\}, \qquad (77)$$

причем первый вектор направлен по нормали в сторону $\bar{\varrho}_1$, второй—по касательной в сторону $\bar{\tau}_1$, а третий, в свою очередь, имеет одну компоненту в сторону, противоположную $\bar{\varrho}_1$, а другую—в сторону, противоположную $\bar{\tau}_1$. Нетрудно видеть, что $\boldsymbol{a}_3$ параллелен диаметру PW_0 поворотного круга, направлен от P к W_0 и имеет модуль

$$a_3 = w\omega = d\cdot\omega^2. \qquad (77')$$

Так как $\frac{a_1}{a_3} = \frac{\overline{AP}}{\overline{W_0P}}$, то, взяв результирующую $\boldsymbol{a}_w = \boldsymbol{a}_1 + \boldsymbol{a}_3$, получим вектор, направленный от A к W_0, причем

$$a_w = \overline{AW_0}\cdot\omega^2. \qquad (78)$$

Т. о. полное ускорение м. б. представлено еще и как сумма двух векторов $\boldsymbol{a}_w$ и $\boldsymbol{a}_2$:

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_w + \boldsymbol{a}_2. \qquad (79)$$

Ускорение $\boldsymbol{a}_3$ называется полюсным ускорением. Модуль a_3, как видно из (77′), один и тот же для всех точек. Это есть в то же время ускорение той точки плоскости p, к-рая совпадает с P и к-рая имеет следовательно скорость=0. Ускорение $\boldsymbol{a}_w$ называется поворотным ускорением. Т. к. всем точкам поворотного круга соответствуют радиусы кривизны их траекторий равные ∞, то поворотный круг есть в то же время геометрич. место всех точек, нормальные ускорения к-рых $a_n = \frac{v^2}{\varrho} = 0$. Для того чтобы найти геометрич. место точек, для к-рых тангенциальные ускорения равны 0, т. е. для к-рых $a_t = 0$, имеем из (75):

$$l\theta - d\cdot\omega^2\cdot\sin\alpha = 0; \quad \frac{l}{\sin\alpha} = \frac{d\cdot\omega^2}{\theta} = h. \qquad (75')$$

Так как в правой части (75′) имеется выражение, постоянное для всех точек p, то (75′) представляет собой окружность, диаметр которой $h = \frac{l}{\sin\alpha}$ перпендикулярен к нормали N и проходит через P. Из сравнения (75′) и (68) видно, что найденная окружность, называющаяся кругом перемен, пересекает

поворотный круг в нек-рой точке B, не имеющей ни тангенциального ни нормального ускорения, т. е. в точке, полное ускорение к-рой равняется нулю. Точка B называется поэтому центром ускорений. Определение центра ускорений B имеет большое значение при определении ускорений точек плоскости p. Так как $\measuredangle W_0PB = \measuredangle W_0HP = \beta$ (фиг 25), то из (75′) имеем:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{d}{h} = \frac{\theta}{\omega^2}. \qquad (75'')$$

Ускорение $\boldsymbol{a}$ точки A можно разложить на две компоненты $\boldsymbol{a}'$ и $\boldsymbol{a}''$ по направлению AB и по перпендикулярному к AB направлению, для чего, разложив $\boldsymbol{a}_n$ и $\boldsymbol{a}_t$ по этим двум направлениям, сложим соответствующие компоненты. Обозначая

$$\measuredangle W_0PA = \alpha;\ \measuredangle W_0PB = \measuredangle W_0HP = \beta;$$
$$\measuredangle BAP = \gamma;\ \measuredangle LBP = \delta,$$

имеем, принимая во внимание (74), (75) и (72):

$$a' = a_n\cos\gamma - a_t\sin\gamma = (l\omega^2 - w\omega\cos\alpha)\cos\gamma - (l\theta - w\omega\sin\alpha)\sin\gamma = l(\omega^2\cos\gamma - \theta\sin\gamma) - d\omega^2\cos(\alpha+\gamma), \qquad (79')$$

$$a'' = a_n\sin\gamma + a_t\cos\gamma = l(\omega^2\sin\gamma + \theta\cos\gamma) - d\cdot\omega^2\sin(\alpha+\gamma). \qquad (80)$$

Опуская из P перпендикуляр на AL, имеем:

$$\overline{PL} = l\sin\gamma = \overline{BP}\sin\delta = d\cos\beta\sin\delta. \qquad (81)$$

Принимая во внимание (81) и (75″), имеем из (79′) и (80) после соответствующего преобразования:

$$a' = \omega^2(l\cos\gamma - d\cos\beta\cos\delta), \qquad (82)$$
$$a'' = \theta(l\cos\gamma - d\cos\beta\cos\delta). \qquad (83)$$

Но выражения, стоящие в скобках правых частей последних равенств, равняются $\overline{AB} = e$, так что окончательно имеем:

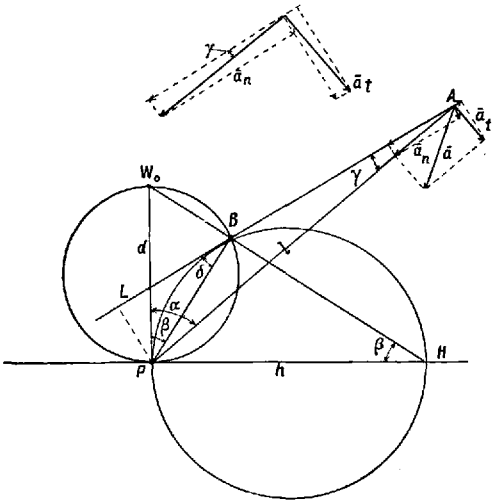
$$a' = e\omega^2, \qquad (84)$$
$$a'' = e\theta, \qquad (85)$$
$$a = e\sqrt{\omega^4 + \theta^2}. \qquad (86)$$

Кроме того

$$\frac{a''}{a'} = \frac{\theta}{\omega^2} = \operatorname{tg}\beta.$$

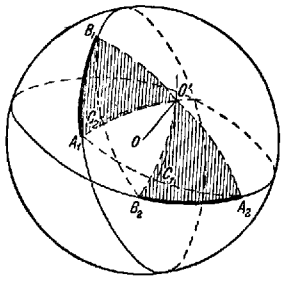
Из (86) видно, что величина ускорения любой точки плоскости p пропорциональна расстоянию e точки до центра ускорения, а направление полного ускорения образует один и тот же угол β с прямой, соединяющей точку с центром ускорения.

Возвращаясь к плоскопараллельному движению тела, нетрудно притти к заключению, что мгновенному вращению плоской фигуры около мгновенного центра P соответствует мгновенное вращение тела около оси, перпендикулярной к π и проходящей через точку P. Т. о. подвижной и неподвижной полодиям соответствуют две цилиндр. поверхности, пересекаемые плоскостью π ортогонально, так что в сечении получаются данные полодии. Цилиндрич. поверхность, проходящая через подвижную полодию, называется подвижной аксоидой, другая же поверхность называется неподвижной аксоидой. Плоскопараллельное движение тела происходит следовательно так, как будто подвижная аксоида, неподвижно скрепленная с телом, катится без скольжения по неподвижной в пространстве аксоиде, причем общая образующая представляет в данный момент мгновенную ось вращения. Если данное тело движется так, что одна точка O остается неподвижной, то, описав в теле около этой точки O шаровидную поверхность S,



Фиг. 25.

можно определить положение тела в пространстве, зная положение S, так что изучение движения тела сводится к изучению движения поверхности S. Положение же последней определяется положением дуги большого круга, проведенной по шаровой поверхности между двумя какими-либо точками последней. Пусть эта дуга перешла за какой-нибудь промежуток времени каким-нибудь образом из положения A_1B_1 в положение A_2B_2 (фиг. 26). Соединив точки A_1, A_2 и B_1, B_2 дугами большого круга и восставив к серединам C_1, C_2 последних перпендикулярные дуги большого круга, найдем нек-рую точку O' пересечения последних, находящуюся также на поверхности S. Соединив O' с A_1, B_1 и с A_2, B_2 дугами большого круга, получим два, равных сферических тр-ка $A_1O'B_1$ и $A_2O'B_2$.



Фиг. 26.

Закрепляя точку O' на поверхности S, можно, вращая тр-к $A_1O'B_1$, привести его в положение $A_2O'B_2$, что очевидно равносильно вращению всей шаровой поверхости S около оси $O'O$. Т. о. из всякого любого предшествующего положения в любое последующее можно рассматриваемое тело привести при помощи одного вращения около нек-рой оси, соответствующей этим двум положениям. Если тело переходит из одного положения в бесконечно близкое к нему другое положение, то соответствующая ось вращения называется мгновенной. При движении тела мгновенные оси вращения, проходя через точку O и следуя непрерывно друг за

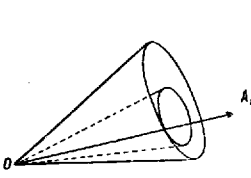
другом, образуют в пространстве нек-рую конич. поверхность с вершиною в O, представляющую неподвижную аксоиду. Геометрич. место мгновенных осей вращения в самом теле, т. е. подвижная аксоида, представляет очевидно также конич. поверхность с вершиной в O (фиг. 27). Т. о. движение тела, имеющего неподвижную точку O, м. б. осуществлено качением без скольжения двух конич. поверхностей, имеющих свои вершины в O и касающихся по прямой, представляющей мгновенную ось вращения (см. *Волчок*). Т. к. все точки мгновенной оси имеют скорость равную 0, то для них имеют место согласно (62) и (63) соотношения:

$$\left.\begin{array}{l}[\omega r]=0\\ qz-ry=0\\ rx-pz=0\\ py-qx=0\end{array}\right\}, \qquad (86')$$

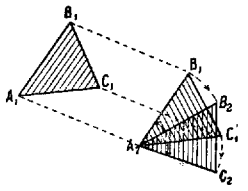
где x,y,z—координаты произвольной точки мгновенной оси относительно неподвижных в пространстве осей. Из (86′) имеем ур-ия мгновенной оси вращения:

$$\frac{x}{p}=\frac{y}{q}=\frac{z}{r}. \qquad (87)$$

Рассмотрим свободное твердое тело, перемещающееся в пространстве. Положение тела определяется положением трех его точек, не лежащих на одной прямой, т. е. положением нек-рого тр-ка $A_1B_1C_1$. Пусть тело пришло из положения, определяемого тр-ком $A_1B_1C_1$, в положение, определяемое треугольником $A_2B_2C_2$ (фиг. 28). Из первого положения во второе можно было бы привести тело след. обр.: переместив тело поступательно по направлению A_1A_2 до совпадения точек A_1 и A_2 так, чтобы тр-к $A_1B_1C_1$ занял положение $A_2B_1'C_1'$, повернуть затем тело около нек-рой оси, проходящей через A_2 так, чтобы тр-к $A_2B_1'C_1'$ совпал с тр-ком $A_2B_2C_2$, что на основании изложенного всегда представляется возможным. Т. о. свободное тело можно всегда привести из одного положения в другое при помощи одного поступательного и одного вращательного движения, причем порядок следования движений роли

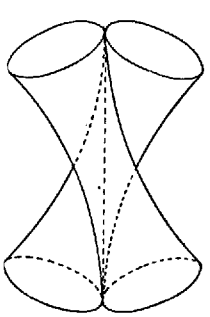


Фиг. 27.

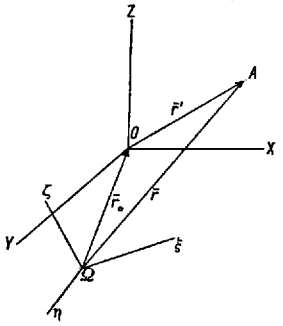


Фиг. 28.

не играет. Отсюда следует, что и бесконечно малое перемещение тела м. б. представлено бесконечно малым вращением и бесконечно малым поступательным движением, которые могут происходить одновременно. Совокупность поступательного и вращательного движений называется винтовым движением. Ось вращения называется осью винтового движения. Если эти движения бесконечно малы, то винтовое движение называется мгновенным. Т. о. при своем движении свободное тело в каждый момент совершает нек-рое мгновенное винтовое движение, причем в общем винтовые оси меняют свои положения как в самом теле, так и в пространстве. Геометрич. место винтовых осей, т. е. подвижная аксоида, представляет собой нек-рую линейчатую поверхность, соприкасающуюся по прямой с другой линейчатой поверхностью — неподвижной аксоидой. Общая образующая представляет собою мгновенную винтовую ось. Примером таких линейчатых поверхностей могут служить два однополостных гиперболоида, соприкасающихся по одной прямой (фиг. 29), причем если один из них неподвижен, то



Фиг. 29.



Фиг. 30.

другой может перемещаться по поверхности первого, совершая около общей образующей бесконечно малое вращение и скользя в то же самое время вдоль нее, вследствие чего мгновенная винтовая ось называется также мгновенной осью скольжения-вращения (см. *Винт* в теоретической механике и *Моторное исчисление*).

Пусть некоторое тело перемещается по отношению к некоторой системе отсчета $Oxyz$, которая вместе с телом перемещается по отношению к системе отсчета $\Omega\xi\eta\zeta$, так что каждая точка тела принимает участие в двух движениях: по отношению к $Oxyz$ и вместе с последней системой по отношению к $\Omega\xi\eta\zeta$. Движение тела по отношению к первой системе называется относительным, движение $Oxyz$ по отношению к $\Omega\xi\eta\zeta$—переносным, а движение тела по отношению к $\Omega\xi\eta\zeta$—движением сложным. Два первых движения называются составляющими движениями. Число составляющих движений м. б. и больше двух. Скорости в этих движениях носят соответствующие этим движениям названия: относительной, переносной и сложной скоростей. Пусть радиусы-векторы, определяющие положение A по отношению к $Oxyz$ и $\Omega\xi\eta\zeta$ будут $\boldsymbol{r}'$ и $\boldsymbol{r}$, а радиус-вектор, определяющий положение O по отношению к $\Omega\xi\eta\zeta$ будет $\boldsymbol{r}_0$ (фиг. 30), т. ч.

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}'+\boldsymbol{r}_0, \qquad (88)$$

откуда имеем:

$$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}=\frac{d\boldsymbol{r}'}{dt}+\frac{d\boldsymbol{r}_0}{dt}. \qquad (89)$$

Обозначая относительную, переносную и сложную скорости точки A тела соответственно через $\boldsymbol{v}_r$, $\boldsymbol{v}_e$ и $\boldsymbol{v}$, имеем:

$$\boldsymbol{v}_r=\frac{d\boldsymbol{r}'}{dt};\quad \boldsymbol{v}_e=\frac{d\boldsymbol{r}_0}{dt};\quad \boldsymbol{v}=\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}, \qquad (90)$$

так что из (89) имеем:

$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_e+\boldsymbol{v}_r, \qquad (91)$$

т. е. вектор скорости в сложном движении равняется сумме векторов скоростей состав-

ляющих движений. Составляющими движениями м. б. движения поступательные, вращательные, винтовые и т. п. При различных видах составляющих движений получаются различные виды сложных движений. Пусть тело в своем относительном движении перемещается поступательно со скоростью v_1, а система $Oxyz$ вместе с телом движется также поступательно, но со скоростью v_2. Т. к. v_1 и v_2 в данный момент постоянны для всех точек тела, то каждая из них также имеет одну и ту же сложную скорость v, т. е. сложное движение также поступательно. Если составляющие движения представляют собой мгновенные вращения, векторы мгновенных угловых скоростей к-рых суть $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$, то могут представиться такого рода случаи: 1) оси вращения пересекаются, 2) оси вращения параллельны и 3) оси вращения перекрещиваются. Если оси вращения пересекаются, то, рассматривая скорость вершины A (фиг. 31) параллелограма, построенного на $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$, смещенных в O, имеем из (62):

$$(v_1)_A = [\bar{\omega}_1 r_A] \text{ и } (v_2)_A = [\bar{\omega}_2 r_A],$$

так что

$$v_A = [\bar{\omega}_1 r_A] + [\bar{\omega}_2 r_A],$$

где

$$r_A = \overrightarrow{OA},$$

но так как

$$[\bar{\omega}_1 r_A] = -[\omega_2 r_A], \text{ то } v_A = 0,$$

так что A в данный момент находится в покое,—другими словами, вся прямая OA также находится в покое, и следовательно сложное движение представляет собою мгновенное вращение, происходящее около диагонали OA. Пусть мгновенная угловая скорость сложного движения равна Ω, тогда скорость сложного движения какой-либо точки M будет

$$v_M = [\bar{\Omega} r_M], \qquad (91')$$

с другой стороны, по (91) имеем:

$$v_M = [\bar{\omega}_1 r_M] + [\bar{\omega}_2 r_M] = [(\bar{\omega}_1 + \bar{\omega}_2) r_M]; \quad (92)$$

сравнивая (91') и (92) получаем:

$$\bar{\Omega} = \bar{\omega}_1 + \bar{\omega}_2. \qquad (93)$$

Обобщая этот результат для случая n составляющих мгновенных вращательных движений, можно написать:

$$\bar{\Omega} = \sum_{i=1}^{n} \bar{\omega}_i \quad (i = 1, 2, 3, \ldots, n). \qquad (94)$$

Пусть далее $\bar{\omega}_1 \parallel \omega_2$ и направлены в одну и ту же сторону. Проведем плоскость, перпендикулярную к ω_1, пересекающую $\bar{\omega}_1$ в точке A_1, а $\bar{\omega}_2$—в точке A_2 (фиг. 32). На прямой A_1A_2 можно найти такую точку A, к-рая имела бы в данный момент сложную скорость, равную нулю. В самом деле, пусть C—некоторая точка на A_1A_2; тогда скорость относительного движения C будет $(v_1)_C = [\bar{\omega}_1 \overrightarrow{A_1C}]$, а переносная скорость $(v_2)_C = [\bar{\omega}_2 \overrightarrow{A_2C}]$, причем направления этих векторов противоположны. Т. о. для нахождения A имеем:

$$\omega_1 \cdot A_1A = \omega_2 \cdot A_2A, \text{ или } \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{A_2A}}{\overline{A_1A}}, \qquad (95)$$

так что A делит A_1A_2 внутренним образом на части, обратно пропорциональные ω_1 и ω_2. Очевидно все точки, лежащие на прямой $AD \parallel \bar{\omega}_1$, имеют также $v = 0$, так что AD есть мгновенная ось вращения сложного движения. Пусть мгновенная угловая скорость сложного вращения равняется Ω. Рассматривая точку A_2, имеем для нее:

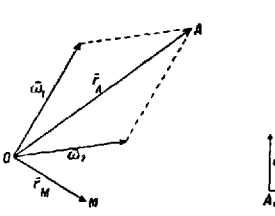
$$(v)_{A_2} = \Omega \cdot \overline{AA_2}; \quad (v_1)_{A_2} = \omega_1 \cdot \overline{A_1A_2}; \quad (v_2)_{A_2} = 0.$$

Таким образом $\Omega \cdot \overline{AA_2} = \omega_1 \cdot \overline{A_1A_2}$, или на основании (95):

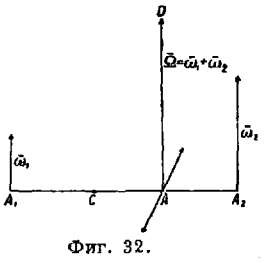
$$\Omega = \frac{\omega_1 \cdot \overline{A_1A_2}}{\overline{AA_2}} = \omega_1\left(\frac{\overline{A_1A} + \overline{A_2A}}{\overline{A_2A}}\right) = \omega_1\left(1 + \frac{\overline{AA_1}}{\overline{AA_2}}\right) =$$

$$= \omega_1\left(1 + \frac{\omega_2}{\omega_1}\right) = \omega_1 + \omega_2; \quad \Omega = \omega_1 + \omega_2.$$

Если $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$ антипараллельны, то точно таким же образом получаем, что точка A делит отрезок A_1A_2 внешним образом на части, обратно пропорциональные ω_1 и ω_2, и что $\bar{\Omega} = \bar{\omega}_2 - \omega_1$ (если $\omega_2 > \omega_1$). В последнем случае, если $\omega_2 = -\bar{\omega}_1$ (пара вращений), то мгновенная ось вращения удаляется в бесконечность, и тело в своем сложном движении перемещается поступательно со скоростью, перпендикулярной к плоскости, образованной $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$. В самом деле, для какой-либо точки M тела имеем (фиг. 33):



Фиг. 31.

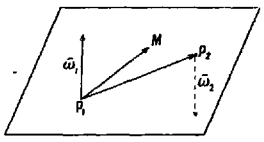


Фиг. 32.

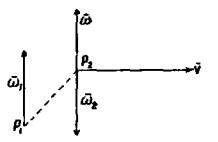
$$v = [\bar{\omega}_1 \overrightarrow{P_1M}] + [\bar{\omega}_2 \overrightarrow{P_2M}] = [\bar{\omega}_1(\overrightarrow{P_1M} - \overrightarrow{P_2M})] =$$

$$= [\bar{\omega}_1 \overrightarrow{P_1P_2}] \text{ и } v = \omega_1 \overline{P_1P_2}. \qquad (96)$$

Точно такую же скорость v будет иметь и любая другая точка тела. Отсюда следует, что всякое поступательное движение тела м. б. рассматриваемо как составное движение пары вращений.



Фиг. 33.



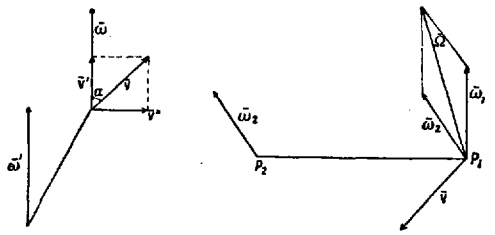
Фиг. 34.

Пусть далее одно из составляющих движений будет мгновенное вращение, а другое движение—поступательное, перпендикулярное к мгновенной оси вращения. Заменим скорость v поступательного движения парою вращений $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$ так, чтобы $\bar{\omega}_1 = \omega = -\bar{\omega}_2$ (фиг. 34), причем на основании (95) имеем:

$$\overline{P_1P_2} = \frac{v}{\omega_1};$$

т. к. $\bar{\omega}_2 = -\bar{\omega}$, то эти два вращения взаимно уничтожаются, и остается одно вращение $\bar{\omega}_1$.

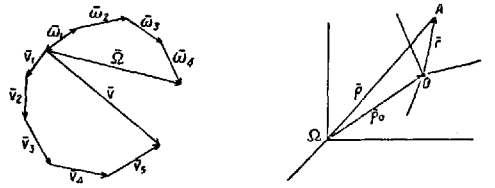
Т. о. сложное движение в данном случае есть мгновенное вращение, происходящее с мгновенной угловой скоростью, равной данной, но около оси, параллельной первой и отстоящей от нее на расстоянии $\frac{v}{\omega}$. Если мгновенная ось вращения не перпендикулярна к скорости v поступательного движения, образуя с последней угол α, то раз-



Фиг. 35. Фиг. 36.

ложив v на два составляющих поступательных движения со скоростями v' и v''—первое по направлению $\bar{\omega}$, а второе по перпендикулярному направлению—имеем $v' = v\cos\alpha$; $v'' = v\sin\alpha$ (фиг. 35). В свою очередь движения v'' и $\bar{\omega}$ м. б. заменены одним мгновенным вращением $\bar{\omega}' \parallel \omega$ и отстоящим от $\bar{\omega}$ на расстоянии $d = \frac{v''}{\omega} = \frac{v\cdot\sin\alpha}{\omega}$; в окончательном итоге имеем сложное движение, состоящее из поступательного движения со скоростью v' и мгновенного вращения с угловой скоростью $\bar{\omega}'$, причем $\bar{\omega}' \parallel v'$, т. е. получаем мгновенное винтовое движение.

Пусть наконец имеются два мгновенных вращения с угловыми скоростями $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$, на-



Фиг. 37. Фиг. 38.

правления которых перекрещиваются. Перенося ω_2 параллельно самому себе в точку приложения P_1 вектора $\bar{\omega}_1$, прибавим в то же время поступательную скорость $v \perp \bar{\omega}_2$ (фиг. 36). Мгновенные вращения $\bar{\omega}_1$ и $\bar{\omega}_2$ заменим одним вращением $\Omega = \omega_1 + \omega_2$. Т. о. имеется вращение $\bar{\Omega}$ и поступательное движение v, к-рые м. б. заменены, как выше было доказано, одним винтовым движением. Обобщая вышеприведенные результаты, можно сказать, что если имеются n мгновенных составных вращения $\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \ldots, \bar{\omega}_n$ и m составных поступательного движения $v_1, v_2, \ldots, v_m$, то, заменив все составляющие вращения одним результирующим вращением Ω (фиг. 37), а все поступательные движения одним результирующим поступательным движением со скоростью v, заменим затем Ω и v одним результирующим винтовым движением.

Определение полного ускорения точек тела при сложном движении последнего м. б. произведено след. обр. Пусть обе системы отсчета O и Ω имеют одно общее начало и пусть мгновенная угловая скорость вращения системы O будет ω; скорость какой-либо точки A, определяемой радиусом-вектором r, складывается из переносной скорости $[\omega r]$ и относительной скорости v_r, равной $\frac{d'r}{dt}$, где знак (′) указывает на то, что изменение рассматривается по отношению к системе O (т. н. локальная производная). Т. о.

$$v = \frac{dr}{dt} = [\omega r] + \frac{d'r}{dt}. \qquad (97)$$

Так как всякий другой вектор $b = b(t)$ м. б. рассматриваем как радиус-вектор конечной точки его, то и по отношению к b м. б. применено соотношение (97), т. е.

$$\frac{db}{dt} = [\omega b] + \frac{d'b}{dt}. \qquad (97')$$

Если же начало O не совпадает с началом Ω, то, обозначив $\overrightarrow{OA} = r$, $\overrightarrow{\Omega O} = \varrho_0$ и $\overrightarrow{\Omega A} = \varrho$ (фиг. 38), имеем:

$$\varrho = \varrho_0 + r. \qquad (98)$$

Отсюда на основании (97) имеем:

$$v = \frac{d\varrho}{dt} = \frac{d\varrho_0}{dt} + [\omega r] + \frac{d'r}{dt} = v_0 + [\omega r] + v_r, \qquad (99)$$

где v_0 — скорость точки O. Беря производную по t от (99) и применяя к v_r и r ф-лу (97′), имеем:

$$a = \frac{d}{dt}\left\{v_0 + [\omega r]\right\} + \frac{dv_r}{dt} = \frac{dv_0}{dt} + \left[\frac{d\omega}{dt} r\right] + \left[\omega \frac{dr}{dt}\right] + \frac{d'v_r}{dt} + [\omega v_r] = \frac{dv_0}{dt} + \left[\frac{d\omega}{dt} r\right] + \left[\omega \frac{d'r}{dt}\right] + [\omega [\omega r]] + \frac{d'v_r}{dt} + [\omega v_r],$$

или же, так как $\frac{d'r}{dt} = v_r$, имеем после приведения:

$$a = \frac{dv_0}{dt} + \left[\frac{d\omega}{dt} r\right] + [\omega [\omega r]] + 2[\omega v_r] + \frac{d'v_r}{dt}. \qquad (100)$$

Если бы не было относительного движения, то, так как $v_r = 0$, ускорение a равнялось бы ускорению переносного движения a_e, и следовательно

$$a_e = \frac{dv_0}{dt} + \left[\frac{d\omega}{dt} r\right] + [\omega [\omega r]]; \qquad (101)$$

член $\frac{d'v_r}{dt}$ представляет очевидно относительное ускорение

$$a_r = \frac{d'v_r}{dt}. \qquad (102)$$

Таким образом

$$a = a_e + a_r + 2[\omega v_r]; \qquad (103)$$

последний член правой части (103) представляет т. н. добавочное или поворотное (кориолисово) ускорение a_c, так что

$$a_c = 2[\omega v_r] \qquad (104)$$

и

$$a_c = 2\omega \cdot v_r \cdot \sin(\omega, v_r). \qquad (105)$$

Динамика точки. До сих пор явления движения рассматривались нами вне зависимости от «причин», вызывающих их, т. е. вне зависимости от тех факторов, без наличия которых данное движение не могло бы

состояться, каковы напр. мускульное усилие руки при бросании нами предмета, притяжение земли, натяжение нити при качании маятника и т. п. Зависимости, существующие между данными «причинами» движения или с и л а м и и вызываемыми ими движениями, составляют предмет изучения д и н а м и к и. В основу последней положены следующие принципы, нашедшие свое подтверждение в совпадении полученных на их основе теоретич. выводов с фактич. явлениями природы. 1) Всякая материальная точка, на которую никакая сила не действует, находится в состоянии прямолинейного и равномерного движения (так наз. п р и н ц и п и н е р ц и и, или 1-я а к с и о м а Н ь ю т о н а). В этом случае имеем очевидно

$$v = \text{Const},$$

т. ч. характер движения точки определяется равенствами (12) и (12′). 2) Всякая сила, действующая на материальную точку, сообщает последней ускорение, пропорциональное величине силы; направление же полного ускорения a совпадает с направлением действующей силы F (2-я а к с и о м а Н ь ю т о н а). Обозначая постоянный для данной материальной точки фактор пропорциональности между a и F, характеризующий также м а с с у точки, через m (см. *Масса*), имеем следовательно:

$$\frac{F}{a} = m \qquad (106)$$

и

$$F = ma$$

или по (37) и (15)

$$F = m\frac{dv}{dt} = m\frac{d^2r}{dt^2}. \qquad (107)$$

Проектируя F на три взаимно-перпендикулярные оси координат Ox, Oy, Oz и обозначая эти проекции через X, Y, Z, имеем из (2) и (38′):

$$\left.\begin{aligned} X &= ma_x = m\frac{d^2x}{dt^2}i \\ Y &= ma_y = m\frac{d^2y}{dt^2}j \\ Z &= ma_z = m\frac{d^2z}{dt^2}k \end{aligned}\right\} \text{ или } \left.\begin{aligned} X &= m\frac{d^2x}{dt^2} \\ Y &= m\frac{d^2y}{dt^2} \\ Z &= m\frac{d^2z}{dt^2} \end{aligned}\right\}. \qquad (108)$$

Ур-ия (108), равносильные ур-ию (106), называются о с н о в н ы м и у р а в н е н и я м и д и н а м и к и. Обозначая углы, образованные вектором F с положительными направлениями осей координат, через α, β, γ, имеем:

$$\cos\alpha = \frac{X}{F};\ \cos\beta = \frac{Y}{F};\ \cos\gamma = \frac{Z}{F}; \qquad (109)$$

$$F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}; \qquad (110)$$

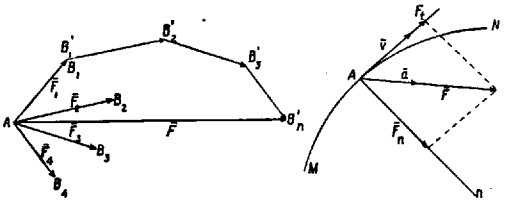
что дает возможность определить величину и направление силы, зная величины X, Y, Z. Так как одновременное динамич. воздействие X, Y, Z эквивалентно действию F, то X, Y, Z называются поэтому к о м п о н е н т а м и, или с о с т а в л я ю щ и м и, силы F по осям координат. Аналогично этому проекция F по какому-нибудь произвольному направлению называется ее компонентой, или составляющей, по этому направлению. Пусть к данной материальной точке приложены силы F_1, F_2, ..., F_n, компоненты которых по осям координат суть соответственно X_1, Y_1, Z_1; X_2, Y_2, Z_2; ...; X_n, Y_n, Z_n. Заменив силы, действующие по одной и той же оси, равнодействующими X, Y, Z, имеем:

$$X = \sum_1^n X_i;\ Y = \sum_1^n Y_i;\ Z = \sum_1^n Z_i.$$

Вектор F, компоненты которого по осям координат суть X, Y, Z, называется р а в н о д е й с т в у ю щ е й данной системы сил $F_1, F_2, \ldots, F_n$, а последние называются силами составляющими. Т. о. имеем:

$$F = X + Y + Z = (X_1 + X_2 + \ldots + X_n) + (Y_1 + Y_2 + \ldots + Y_n) + (Z_1 + Z_2 + \ldots + Z_n) = (X_1 + Y_1 + Z_1) + (X_2 + Y_2 + Z_2) + \ldots + (X_n + Y_n + Z_n) = F_1 + F_2 + \ldots + F_n, \qquad (110')$$

т. е. вектор равнодействующей силы равен сумме векторов сил составляющих. Мн-к $AB_1'B_2'B_3' \ldots B_n'$ (фиг. 39), построенный так, что



Фиг. 39.

Фиг. 40.

$\overrightarrow{A_1'B_2'} = F_2$; $\overrightarrow{B_2'B_3'} = F_3$; ...; $\overrightarrow{B_{n-1}'B_n'} = F_n$, называется м н о г о у г о л ь н и к о м с и л, или с и л о в ы м м н о г о у г о л ь н и к о м. Вектор F очевидно равен замыкающей стороне силового мн-ка, проведенной от начала мн-ка A к концу его B_n'. Из (110) имеем в этом случае:

$$F = \sqrt{\left(\sum_1^n X_i\right)^2 + \left(\sum_1^n Y_i\right)^2 + \left(\sum_1^n Z_i\right)^2}. \qquad (110'')$$

Пользуясь ур-иями (108) или, что равносильно, ур-ием (106), можно себе поставить следующие две основные проблемы: 1) зная движение точки, т. е. ур-ия движения (2), определить действующую силу, т. е. функциональную зависимость величины и направления силы от времени t, и 2) зная силу, т. е. значения величин (108) как ф-ии времени, определить движения точки, т. е. ур-ия движения (2). Масса точки в обоих случаях предполагается известной. Для решения первой проблемы очевидно достаточно взять вторые производные по t от функции (2) и умножить эти производные на m, что и определит X, Y, Z в функции t. Величина и направление F в зависимости от t определяются уже затем равенствами (109) и (110). Для решения второй проблемы, обратной первой, необходимо очевидно проинтегрировать систему трех дифференциальных ур-ий 2-го порядка (108), вследствие чего x, y, z окажутся зависимыми не только от t, но и от шести произвольных постоянных интеграции $C_1, C_2, \ldots, C_6$, так что:

$$x = f_1(t, C_1, C_2, \ldots, C_6);\ y = f_2(t, C_1, C_2, \ldots, C_6);$$
$$z = f_3(t, C_1, C_2, \ldots, C_6),$$

или

$$r = r(t, C_1, C_2, \ldots, C_6). \qquad (111)$$

Произвольные постоянные $C_1, C_2, \ldots, C_6$ принимают однако вполне конкретные значения, если известны у с л о в и я д в и ж е н и я точки в какой-нибудь момент, т. е.

если известны положение, величина и направление скорости точки в определенный момент. В частности эти условия м. б. н а ч а л ь н ы м и, т. е. соответствующими моменту $t = 0$. Так, если $\boldsymbol{F} = 0$, т. е. если движение равномерно и прямолинейно, то из (106) имеем $\boldsymbol{a} = 0$, и следовательно

$$\boldsymbol{v} = \text{Const} = \boldsymbol{v}_0 \qquad (112)$$

или

$$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \boldsymbol{v}_0. \qquad (112')$$

Интегрируя (112'), получаем:

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{v}_0 t + \boldsymbol{C}. \qquad (113)$$

Если, при $t = 0$, $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0$, то из (113) получаем: $\boldsymbol{C} = \boldsymbol{r}_0$, т. ч. вместо (113) имеем:

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{v}_0 t + \boldsymbol{r}_0, \qquad (114)$$

что равносильно трем ур-иям:

$$\left.\begin{aligned} x &= (v_0)_x t + x_0 \\ y &= (v_0)_y t + y_0 \\ z &= (v_0)_z t + z_0 \end{aligned}\right\}, \qquad (115)$$

где $(v_0)_x$, $(v_0)_y$ и $(v_0)_z$—проекции $\boldsymbol{v}_0$ на оси координат, а x_0, y_0, z_0—координаты начального положения точки определяемого радиусом-вектором $\boldsymbol{r}_0$. Ур-ия (115) и представляют собой ур-ия движения точки, содержащие шесть постоянных $(v_0)_x$, $(v_0)_y$, $(v_0)_z$, x_0, y_0, z_0. Ур-ия прямолинейной траектории точки получим, исключив t из (115):

$$\frac{x - x_0}{(v_0)_x} = \frac{y - y_0}{(v_0)_y} = \frac{z - z_0}{(v_0)_z}. \qquad (116)$$

Пусть материальная точка, находящаяся под действием силы $\boldsymbol{F}$ и имеющая в данный момент скорость v, движется по траектории MN (фиг. 40). Разложим $\boldsymbol{F}$ на две компоненты: одну $\boldsymbol{F}_t$, называемую т а н г е н ц и а л ь н о й к о м п о н е н т о й — по направлению касательной, проведенной к траектории в рассматриваемом положении точки, и другую, F_n, называемую н о р м а л ь н о й к о м п о н е н т о й,—по направлению соответствующей главной нормали кривой MN. Из (106), (44) и (45) имеем тогда:

$$\boldsymbol{F}_t = (m\boldsymbol{a})_t = m\boldsymbol{a}_t = \pm m\frac{dv}{dt}\bar{\tau}_1, \qquad (117)$$

$$\boldsymbol{F}_n = (m\boldsymbol{a})_n = m\boldsymbol{a}_n = m\frac{v^2}{\varrho}\bar{\varrho}_1, \qquad (118)$$

причем модули этих компонент:

$$F_t = m\frac{dv}{dt}, \qquad (117')$$

$$F_n = m\frac{v^2}{\varrho}, \qquad (118')$$

а модуль силы:

$$F = m\sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\varrho}\right)^2}. \qquad (119)$$

Так как вектор полного ускорения $\boldsymbol{a}$ лежит всегда в соприкасающейся плоскости кривой и направлен всегда внутрь кривизны кривой, то, как это видно из (106), и вектор $\boldsymbol{F}$ лежит в соприкасающейся плоскости и также всегда направлен внутрь кривизны траектории. Отсюда также следует, что компонента силы $\boldsymbol{F}$ по бинормали всегда равна нулю. Как видно из (117), тангенциальная компонента $\boldsymbol{F}_t$ влияет лишь на изменение линейной скорости v, т. е. обусловливает изменение равномерности движения точки; нормальная же компонента, как видно из (118), влияет на радиус кривизны траектории, т. е. обусловливает отклонение движения точки от прямолинейности. Т. о., если $\boldsymbol{F}_t = 0$, т. е. если сила $\boldsymbol{F}$ в любом положении точки направлена по главной нормали, то точка движется равномерно; в самом деле, в этом случае имеем из (117'):

$$\frac{dv}{dt} = 0 \quad \text{и} \quad v = \text{Const}.$$

Если же в любом положении точки $\boldsymbol{F}_n = 0$, то точка движется прямолинейно; в самом деле, в этом случае имеем на основании (118) $\frac{v^2}{\varrho} = 0$ и $\varrho = \infty$, что указывает на прямолинейность траектории. При круговом движении точки имеем на основании (44''), (45'') и (46'):

$$F_t = \pm mR\frac{d\omega}{dt} = \pm R\theta, \qquad (117'')$$

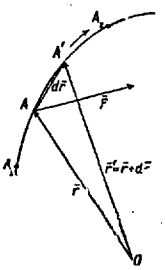
$$F_n = mR\omega^2, \qquad (118'')$$

$$F = mR\sqrt{\theta^2 + \omega^4}, \qquad (119')$$

где R—попрежнему радиус окружности, по которой движется точка. Если точка движется при этом равномерно, и так как в этом случае $F_t = 0$, то

$$F = F_n = mR\omega^2, \qquad (119'')$$

так что сила $\boldsymbol{F}$ в равномерном движении по кругу все время будет направлена к центру окружности. Эта последняя сила представляет собой частный случай т. н. ц е н т р а л ь н ы х с и л, таких сил, линии действия к-рых проходят через одну и ту же точку. Пусть $\boldsymbol{F}$ представляет собою некоторую центральную силу, проходящую через точку O. Далее, так как направление $\boldsymbol{a}$ всегда совпадает с направлением $\boldsymbol{F}$, то линия действия $\boldsymbol{a}$ также все время проходит через O, так что точка будет совершать центральное движение, т. е., как это видно из равенства (54'), секториальная скорость движения точки постоянна, а радиус-вектор, определяющий положение движущейся точки и имеющий начало в O, ометает площади, пропорциональные истекшим промежуткам времени. Такого рода движения совершают например планеты, находящиеся под действием силы притяжения солнца (законы Кеплера).



Фиг. 41.

Пусть точка, находящаяся под действием силы $\boldsymbol{F}$, переместилась за бесконечно малый промежуток времени dt из положения A, определяемого радиусом-вектором $\boldsymbol{r}$, в бесконечно близкое положение A' (фиг. 41), определяемое вектором

$$\boldsymbol{r}' = \boldsymbol{r} + d\boldsymbol{r}.$$

Э л е м е н т а р н о й р а б о т о й dT силы $\boldsymbol{F}$ называется скалярное произведение векторов $\boldsymbol{F}$ и $d\boldsymbol{r}$, так что

$$dT = \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{r} = F \cdot dr \cos(\boldsymbol{F}, d\boldsymbol{r}), \qquad (120)$$

причем dr м. б. отождествлен с элементом ds пройденного пути. В зависимости от того, будет ли $\measuredangle(\boldsymbol{F}, d\boldsymbol{r}) >$ или $< 90°$, и элементарная работа dT будет либо положительна либо отрицательна. В последнем случае $\boldsymbol{F}$ называется т о р м о з я щ е й с и л о й. Если же $\measuredangle(\boldsymbol{F}, d\boldsymbol{r}) = 90°$, т. е. если $\boldsymbol{F}$

нормальна к траектории, то и $dT=0$. Если модули проекций $d\boldsymbol{r}$ на оси координат обозначить через dx, dy, dz, то, пользуясь ф-лой векторного исчисления $\boldsymbol{AB}=A_xB_x+A_yB_y+A_zB_z$, имеем из (120):

$$dT = X\,dx + Y\,dy + Z\,dz. \qquad (121)$$

Пусть, далее, за промежуток времени от t_1 до t_2, равный Δt, точка переместилась из положения A_1 в положение A_2. Полной работой T силы $\boldsymbol{F}$ за этот промежуток времени на этом пути называется сумма всех элементарных работ за этот же промежуток на этом же пути, т. е.

$$T=\int_{A_1}^{A_2}\boldsymbol{F}\,d\boldsymbol{r}=\int_{A_1}^{A_2}F\cos(\boldsymbol{F},d\boldsymbol{r})\,dr=$$
$$=\int_{A_1}^{A_2}(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz). \qquad (122)$$

В частности, если точка движется прямолинейно и если $\boldsymbol{F}$ совпадает с направлением движения, и так как в этом случае $\cos(\boldsymbol{F},\boldsymbol{r})=1$, то из (122) имеем:

$$T=\int_{A_1}^{A_2}F\,dr. \qquad (122')$$

Если к тому же $F=\mathrm{Const}$, то имеем из последнего равенства:

$$T=Fs, \qquad (122'')$$

где $s=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1$—путь, пройденный точкой за рассматриваемый промежуток времени. Если же в любом положении точки $\boldsymbol{F}$ нормальна к траектории, т. е. $\boldsymbol{F}\perp d\boldsymbol{r}$, и т. к. в этом случае $\cos(\boldsymbol{F},d\boldsymbol{r})=0$, то из (122) имеем $T=0$. Если на точку действует ряд сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_3, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, причем равнодействующая их $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\ldots+\boldsymbol{F}_n$, то из (122) имеем:

$$T=\int_{A_1}^{A_2}\boldsymbol{F}\,d\boldsymbol{r}=\int_{A_1}^{A_2}(\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\ldots+\boldsymbol{F}_n)\,d\boldsymbol{r}=$$
$$=\int_{A_1}^{A_2}\boldsymbol{F}_1\,d\boldsymbol{r}+\int_{A_1}^{A_2}\boldsymbol{F}_2\,d\boldsymbol{r}+\ldots=T_1+T_2+\ldots+T_n,$$

где $T_1, T_2, T_3, \ldots, T_n$—полные работы сил составляющих. Следовательно полная работа равнодействующей силы будет равна алгебраической сумме работ сил составляющих. Если вообще работа силы за промежуток Δt равняется ΔT, то средней мощностью работы $W_{cp.}$ за рассматриваемый промежуток времени называется частное $\frac{\Delta T}{\Delta t}$, так что

$$W_{cp.}=\frac{\Delta T}{\Delta t}. \qquad (123)$$

Истинною же мощностью W в данный момент называется предел частного (123) при $\Delta t\to 0$, так что

$$W=\lim_{\Delta t\to 0}\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)=\frac{dT}{dt}. \qquad (124)$$

Из равенств (120), (106), (37) и (15) имеем далее:

$$dT=\boldsymbol{F}\,d\boldsymbol{r}=m\boldsymbol{a}\,d\boldsymbol{r}=m\left(\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}d\boldsymbol{r}\right)=m\,(d\boldsymbol{v}\,\boldsymbol{v})=$$
$$=d\left(\tfrac{1}{2}m\boldsymbol{v}^2\right)=d\left(\tfrac{1}{2}mv^2\right)=dL. \qquad (125)$$

Выражение $L=\frac{1}{2}mv^2$ называется живою силою, или кинетической энергией точки. Т. о. по (125) имеем, что элементарная работа силы $\boldsymbol{F}$ равняется дифференциалу живой силы точки. Если в положении A_1 линейная скорость точки равнялась v_1, а в положении A_2 равнялась v_2, то из (122) и (125) имеем:

$$T=\int_{A_1}^{A_2}d\left(\tfrac{1}{2}mv^2\right)=\frac{mv_2^2}{2}-\frac{mv_1^2}{2}, \qquad (125')$$

т. е. полная работа силы за какой-нибудь промежуток времени равняется изменению кинетич. энергии точки за тот же промежуток времени, причем это изменение м. б. как положительно, так и отрицательно, в соответствии с чем и работа будет либо положительной либо отрицательной.

Понятия работы, мощности и живой силы принадлежат к т. наз. производным понятиям динамики. К числу последних принадлежат также и понятия количество движения и импульс силы. Количеством движения точки называется произведение массы m точки на скорость $\boldsymbol{v}$ последней. Обозначая количество движения через $\boldsymbol{K}$, имеем следовательно:

$$\boldsymbol{K}=m\boldsymbol{v}. \qquad (126)$$

Очевидно вектор $\boldsymbol{K}$ в m раз больше вектора $\boldsymbol{v}$ и совпадает по направлению с последним. Вектор $\boldsymbol{F}\,dt$ называется элементарным импульсом силы, а вектор $\boldsymbol{F}_l dt$, где $\boldsymbol{F}_l$ есть компонента $\boldsymbol{F}$ по некоторому направлению l, называется элементарным импульсом силы по направлению l. Полным импульсом силы $\boldsymbol{J}$ за промежуток времени от t_1 до t_2 называется сумма всех элементарных импульсов силы за рассматриваемый промежуток времени, т. е.

$$\boldsymbol{J}=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\,dt. \qquad (127)$$

Аналогично этому имеем полный импульс силы по направлению l:

$$J_l=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{F}\,dt. \qquad (127')$$

Так как $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{X}+\boldsymbol{Y}+\boldsymbol{Z}$, то из (127) имеем:

$$\boldsymbol{J}=\int_{t_1}^{t_2}(\boldsymbol{X}+\boldsymbol{Y}+\boldsymbol{Z})\,dt=$$
$$=\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{X}\,dt+\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{Y}\,dt+\int_{t_1}^{t_2}\boldsymbol{Z}\,dt=\boldsymbol{J}_x+\boldsymbol{J}_y+\boldsymbol{J}_z,$$

т. е. полный импульс силы равен сумме полных импульсов силы по осям координат. Из (127) непосредственно следует, что

$$\frac{d\boldsymbol{J}}{dt}=\boldsymbol{F}, \qquad (128)$$

т. е. производная по времени от полного импульса силы равняется действующей в данный момент силе $\boldsymbol{F}$. Из (127) имеем также, принимая во внимание (106) и (37):

$$\boldsymbol{J}=\int_{t_1}^{t_2}m\boldsymbol{a}\,dt=m\int_{t_1}^{t_2}d\boldsymbol{v}=m\boldsymbol{v}_2-m\boldsymbol{v}_1, \qquad (129)$$

где $\boldsymbol{v}_1$ и $\boldsymbol{v}_2$ — скорости точки в моменты t_1 и t_2. Т. о. видно, что полный импульс силы за какой-нибудь промежуток времени равен изменению количества движения за тот же промежуток времени.

Рассмотрим теперь такую силу $\boldsymbol{F}$, величина и направление к-рой зависят только от положения точки приложения силы, так что

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}(x, y, z), \qquad (130)$$

или, что равносильно:

$$\left.\begin{aligned} X &= X(x, y, z) \\ Y &= Y(x, y, z) \\ Z &= Z(x, y, z) \end{aligned}\right\}. \qquad (130')$$

Если последние ф-ии однозначны и непрерывны в определенной области, то каждой точке области соответствует сила определенной величины и определенного направления. Совокупность всех таких точек составляет т. н. силовое поле, или поле сил. Допустим кроме того, что имеется такая однозначная непрерывная ф-ия $U(x, y, z)$, которая обладает следующими свойствами:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial x} &= -X \\ \frac{\partial U}{\partial y} &= -Y \\ \frac{\partial U}{\partial z} &= -Z \end{aligned}\right\}. \qquad (131)$$

Если такая ф-ия U для данной силы (130) существует, то она называется по отношению к данной силе силовой, или потенциальной, а сама сила называется потенциальной. Нетрудно видеть, что если данная сила потенциальна, то т. к. из (131) имеем:

$$\frac{\partial X}{\partial y} = -\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial x} \quad \text{и} \quad \frac{\partial Y}{\partial x} = -\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y},$$

то

$$\frac{\partial X}{\partial y} = \frac{\partial Y}{\partial x}$$

и аналогично:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial z} &= \frac{\partial Z}{\partial y} \\ \frac{\partial Z}{\partial x} &= \frac{\partial X}{\partial z} \end{aligned}\right\}. \qquad (132)$$

Последние равенства и представляют собой условия, необходимые и достаточные для того, чтобы данная сила $\boldsymbol{F}$ была потенциальной. В последнем случае имеем на основании равенства (131):

$$\boldsymbol{F} = X\boldsymbol{i} + Y\boldsymbol{j} + Z\boldsymbol{k} = -\frac{\partial U}{\partial x}\boldsymbol{i} - \frac{\partial U}{\partial y}\boldsymbol{j} - \frac{\partial U}{\partial z}\boldsymbol{k} = -\nabla U = -\operatorname{grad} U, \qquad (133)$$

так что $\boldsymbol{F}$—градиент функции U (см. *Векторное исчисление*). Так как функция U однозначна, то каждой точке рассматриваемого силового поля соответствует одно, и только одно, значение функции U, получаемое подстановкой в $U(x, y, z)$ координат данной точки x_i, y_i, z_i вместо текущих координат x, y, z. Полученное т. о. значение U называется потенциалом поля в рассматриваемой точке. Пусть точка переместилась под действием потенциальной силы $\boldsymbol{F}$ из положения A, определяемого радиусом-вектором $\boldsymbol{r}$, в бесконечно близкое положение. Элементарная работа силы $\boldsymbol{F}$ при этом перемещении будет по (121) и (131):

$$dT = X\,dx + Y\,dy + Z\,dz = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\,dx + \frac{\partial U}{\partial y}\,dy + \frac{\partial U}{\partial z}\,dz\right). \qquad (133')$$

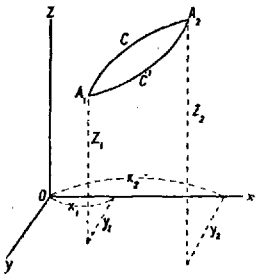
Допустим далее, что под действием данной потенциальной силы $\boldsymbol{F}$ точка переместилась из положения $A_1(x_1, y_1, z_1)$ в положение $A_2(x_2, y_2, z_2)$ по некоторой траектории A_1CA_2 (фиг. 42). Пусть потенциалы поля в этих точках будут соответственно

$$U_1 = U(x_1, y_1, z_1); \quad U_2 = U(x_2, y_2, z_2).$$

Тогда полная работа силы $\boldsymbol{F}$ при рассматриваемом перемещении точки будет равна на основании (122) и (131):

$$T = \int_{A_1}^{A_2} (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz) = -\int_{A_1}^{A_2} \left(\frac{\partial U}{\partial x}\,dx + \frac{\partial U}{\partial y}\,dy + \frac{\partial U}{\partial z}\,dz\right) = -\int_{A_1}^{A_2} dU = U_1 - U_2, \qquad (134)$$

так что полная работа T равняется разности потенциалов $U_1 - U_2$. Отсюда видно, что работа T потенциальной силы $\boldsymbol{F}$ не зависит от самой траектории A_1CA_2, а только от положения крайних точек ее. Это свойство называют свойством консервативности потенциальной силы. На этом основании нетрудно притти к выводу, что работа потенциальной силы по всякому замкнутому контуру $A_1CA_2C'A_1$ равняется 0. Сравнивая равенства (125′) и (134), имеем также:



Фиг. 42.

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = U_1 - U_2, \qquad (135)$$

или

$$\frac{mv_1^2}{2} + U_1 = \frac{mv_2^2}{2} + U_2, \qquad (135')$$

так что для всех точек поля

$$\frac{mv_i^2}{2} + U_i = \text{Const.} \qquad (136)$$

Живая сила $\frac{mv_i^2}{2}$ характеризует кинетическую энергию материальной точки массы m в положении (x_i, y_i, z_i), а потенциал U_i—потенциальную энергию материальной точки в том же ее положении. Т. о. ур-ие (136) выражает, что сумма кинетич. и потенциальной энергии материальной точки, перемещающейся под действием потенциальной силы, есть величина постоянная для данного силового поля. Совокупность всех точек поля, имеющих один и тот же потенциал, представляет собою в виду однозначности и непрерывности функции U очевидно некоторую поверхность называемую эквипотенциальной, или поверхностью уровня. Уравнение эквипотенциальной поверхности очевидно будет:

$$U(x, y, z) = C, \qquad (137)$$

или

$$dU = 0, \qquad (137')$$

где C—нек-рая произвольная постоянная. Меняя значение постоянной C, получим целое семейство эквипотенциальных поверхностей. Проведем из какой-либо точки O (фиг. 43) поверхности уровня $U(x, y, z) = C$ нормаль n к последней и пусть эта нормаль образует с осями координат углы α, β, γ. Тогда имеем на основании выводов *дифференциальной геометрии* (см.):

$$\left.\begin{aligned}\cos\alpha &= \frac{\frac{\partial U}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2}}\\ \cos\beta &= \frac{\frac{\partial U}{\partial y}}{\sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2}}\\ \cos\gamma &= \frac{\frac{\partial U}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2}}\end{aligned}\right\}. \quad (138)$$

Пусть, с другой стороны, линия действия силы $\boldsymbol{F}$, действующей в точке O, образует с осями координат углы α', β', γ'. Из равенств (109), (110) и (138) имеем:

$$\cos\alpha' = \frac{X}{\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}} = \frac{\frac{\partial U}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2}} = \cos\alpha$$

и аналогично:

$$\cos\beta = \cos\beta',$$
$$\cos\gamma = \cos\gamma'.$$

Т. о. потенциальная сила $\boldsymbol{F}$ направлена по нормали к поверхности уровня, проходящей через точку приложения $\boldsymbol{F}$. Это же можно усмотреть и непосредственно из формулы (133), исходя из самого понятия градиента функции U. Так как по определению все точки поверхности уровня имеют один и тот же потенциал, то из (134) имеем: 1) полная работа потенциальной силы при перемещении точки по поверхности уровня равняется нулю и 2) работа потенциальной силы по произвольному незамкнутому контуру, имеющему крайние точки на одной и той же поверхности уровня, равна 0.

Нетрудно видеть, что всякая центральная сила есть сила потенциальная. В самом деле: допустим, что имеется некоторая центральная сила $\boldsymbol{F}$, линия действия к-рой проходит через центр O и величина к-рой F зависит от расстояния $AO = r$, где A—точка приложения силы $\boldsymbol{F}$ (фиг. 44), так что

$$F = f(r).$$

Если $\boldsymbol{r}_1$—единичный вектор, определяющий направление OA, то вследствие центральности силы $\boldsymbol{F}$ имеем:

$$\boldsymbol{F} = \pm F\boldsymbol{r}_1 = \pm f(r)\boldsymbol{r}_1, \quad (139)$$

причем знак (+) соответствует случаю о т т а л к и в а ю щ е й от O силы, а знак (−) соответствует случаю п р и т я г и в а ю щ е й к O силы. Элементарная работа силы $\boldsymbol{F}$ равняется, на основании (120) и (139):

$$dT = \boldsymbol{F}\cdot d\boldsymbol{r} = \pm f(r)(\boldsymbol{r}_1\cdot d\boldsymbol{r}) = \pm f(r)dr(\boldsymbol{r}_1\cdot\boldsymbol{r}_1) \pm f(r)\cdot r(\boldsymbol{r}_1\cdot d\boldsymbol{r}_1) = \pm f(r)dr, \quad (140)$$

т. к. $(\boldsymbol{r}_1\cdot\boldsymbol{r}_1)=1$, а $(\boldsymbol{r}_1\cdot d\boldsymbol{r}_1)=0$, ибо $\boldsymbol{r}_1 \perp d\boldsymbol{r}_1$. Обозначая

$$\mp\int f(r)\,dr + C = U, \quad (141)$$

имеем из (140):

$$dT = -dU, \text{ или } T = U_1 - U_2,$$

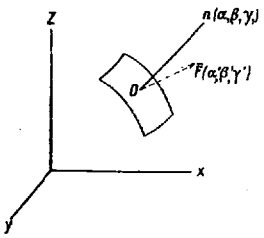
что и доказывает свойство консервативности всякой центральной силы, а вместе с тем и то, что она потенциальна. Ур-ие поверхности уровня будет по (137′):

$$dU = 0,$$

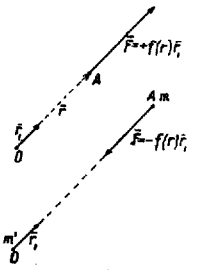
или

$$f(r)\,dr = 0;\ dr = 0;\ r = \text{Const},$$

т. е. поверхности уровня представляют концентрические шаровые поверхности, центр которых совпадает с центром O. В частности сила взаимного тяготения, действующая по закону Ньютона как сила центральная, есть в то же время и сила потенциальная, так что по отношению к ней применимы все выводы, сделанные выше по отношению



Фиг. 43.



Фиг. 44.

к потенциальным силам вообще. Если имеются две материальные точки, массы которых равны m и m' и которые отстоят друг от друга на расстоянии r, то, как известно, величина силы взаимного притяжения, действующая между ними, прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату их взаимного расстояния. Если точку массы m' поместить в точке O, то сила притяжения $\boldsymbol{F}$, действующая на точку массы,

$$\boldsymbol{F} = -k\frac{m'm}{r^2}\boldsymbol{r}_1, \quad (142)$$

где k—некоторый универсальный фактор пропорциональности. Обозначая km' через μ^2, имеем также

$$\boldsymbol{F} = -\frac{\mu^2 m}{r^2}\boldsymbol{r}_1. \quad (142')$$

Сравнивая равенства (142′) и (139) и принимая во внимание, что в данном случае $\boldsymbol{F}$ есть сила притяжения, имеем:

$$f(r) = \frac{\mu^2 m}{r^2}, \quad (143)$$

так что по (141):

$$U = \int\frac{\mu^2 m}{r^2}dr = \mu^2 m\int\frac{dr}{r^2} = -\frac{\mu^2 m}{r} + C. \quad (144)$$

Если при $r = r_0$ потенциальная ф-ия U имеет значение U_0, то из (144) имеем:

$$U_0 = -\frac{\mu^2 m}{r_0} + C, \text{ или } C = U_0 + \frac{\mu^2 m}{r_0},$$

так что

$$U = -\mu^2 m\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) + U_0. \quad (144')$$

Нетрудно видеть, что сила тяжести $\boldsymbol{P} = m\boldsymbol{g}$ есть также сила потенциальная. В самом

деле, если оси координат Ox и Oy взять в горизонтальной плоскости, а положительное направление оси Oz взять вертикально вверх, то

$$X = 0;\quad Y = 0;\quad Z = -mg. \qquad (145)$$

Так как условия (132) при этом удовлетворяются, то сила $\boldsymbol{P}$ потенциальна. Для того чтобы найти соответствующую потенциальную функцию, имеем из (133′), принимая во внимание (145),

$$-dU = X\,dx + Y\,dy + Z\,dz = -mg\,dz, \qquad (146)$$

откуда интегрируя получаем:

$$U = +mgz + C. \qquad (147)$$

Если точке, имеющей ординату $z = z_0$, соответствует потенциал U_0, то из (147) находим:

$$C = U_0 - mgz_0,$$

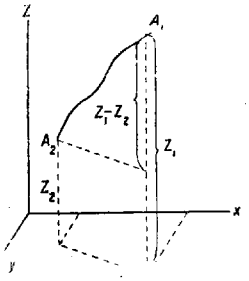
так что

$$U = mg(z - z_0) + U_0. \qquad (147')$$

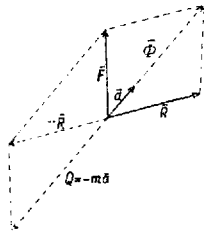
Ур-ие поверхности уровня $U = \text{Const}$ дает в данном случае: $z = \text{Const}$. Т. о. поверхности уровня представляют собой в рассматриваемом случае горизонтальные плоскости. Пусть точка переместилась из положения A_1, где потенциал U_1, в положение A_2, где потенциал U_2 (фиг. 45). Полная работа силы тяжести $\boldsymbol{P}$ при этом перемещении по (134) и (147′):

$$T = U_1 - U_2 = [mg(z_1 - z_0) + U_0] - [mg(z_2 - z_0) + U_0] = mg(z_1 - z_2) = P(z_1 - z_2), \qquad (148)$$

где z_1 и z_2 представляют собой координаты соответствующих положений точки. Т. о.



Фиг. 45.



Фиг. 46.

работа силы тяжести при всяком перемещении весомой точки равняется произведению величины силы P на разность высот положений точки. Очевидно, если точка перемещается в горизонтальной плоскости, то, так как разность высот равна нулю, работа силы тяжести также равняется нулю.

До сих пор мы рассматривали движения лишь т. н. свободных точек, т. е. точек, подвергавшихся воздействию только нек-рых сил, из к-рых каждая стремилась сообщить точке определенное движение. Но имеются случаи, когда на движение данной материальной точки помимо данных сил влияют еще и другие причины, как напр. воздействие данной поверхности или кривой, по к-рым материальная точка вынуждена перемещаться (тело, перемещающееся по данной поверхности, шарик, перемещающийся внутри трубочки и т. п.). В последнем случае точка называется несвободной или находящейся под действием связей. Очевидно представляется возможным найти такую силу, действие которой могло бы заменить действие данной связи; такая сила называется реакцией, или силой, связи. Прибавив реакцию $\boldsymbol{R}$ данной связи к данным силам, приложенным к точке и имеющим равнодействующую $\boldsymbol{F}$, можно будет опять рассматривать точку как свободную, к к-рой приложены силы $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$, так что ур-ие движения точки будет по (107):

$$m\frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2} = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{R}. \qquad (149)$$

Равнодействующая $\boldsymbol{\Phi} = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{R}$ называется эффективною силою в отличие от $\boldsymbol{F}$, называемой силою движущей. Если реакция связи $\boldsymbol{R}$ не дана, то очевидно, что ур-ия (149) недостаточно для определения движения точки, т. к. содержит в сущности три неизвестных компоненты силы $\boldsymbol{R}$ по осям координат, вследствие чего является необходимым получить три новых ур-ия. Если точка вынуждена перемещаться по нек-рой поверхности S, то ур-ие этой поверхности

$$f(x, y, z) = 0 \qquad (150)$$

и представляет собою одно из необходимых дополнительных ур-ий. Если же точка вынуждена перемещаться по нек-рой кривой C, то ур-ия этой кривой

$$\left.\begin{aligned} f_1(x, y, z) &= 0 \\ f_2(x, y, z) &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (151)$$

представляют собой два из необходимых дополнительных ур-ий. Три ур-ия

$$\left.\begin{aligned} f_1(x, y, z) &= 0 \\ f_2(x, y, z) &= 0 \\ f_3(x, y, z) &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (152)$$

дают только одно определенное положение точки, так что перемещение последней оказывается невозможным. Если связи абсолютно гладкие, т. е. если реакция связей не имеет тангенциальных компонент, то $\boldsymbol{R}$ нормальна как к поверхности S, так и к кривой C. Принимая это обстоятельство во внимание, получаем два уравнения, выражающих перпендикулярность $\boldsymbol{R}$ к поверхности S, и одно ур-ие, выражающее перпендикулярность $\boldsymbol{R}$ к кривой C. И в том и в другом случае мы следовательно получаем по три добавочных ур-ия, необходимых как для полного определения движения точки, так и для нахождения неизвестных компонент реакции связи $\boldsymbol{R}$. Распространяя этот вывод и на крайние случаи абсолютно свободной и абсолютно несвободной точек, можно сказать, что в первом случае эти три добавочных уравнения дают условие $\boldsymbol{R} = 0$, а во втором—условие $\boldsymbol{v} = 0$. При наличии поверхности S можно две из переменных величин x, y, z выбрать произвольно, а третью определить через первые две из уравнения (150). Произвольно взятые координаты называются свободными (см. *Координаты*). При наличии же кривой C можно произвольно взять только одну из трех координат, а оставшиеся две определяются через первую из ур-ий (151). Так как в первом случае точка обладает большею свободою движения, чем во втором, то число свободных координат принимается как величина, определяющая степень сво-

б о д ы точки, находящейся под действием связей. Точка следовательно имеет 3, 2, 1 и 0 степеней свободы в зависимости от того, перемещается ли она свободно по поверхности, по кривой или совершенно неподвижна. Ур-ие движения (149) м. б. представлено еще и в следующем виде:

$$\boldsymbol{F} + \boldsymbol{R} + (-m\boldsymbol{a}) = 0, \qquad (153)$$

что м. б. интерпретировано след. обр. Допустим, что кроме сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$ к точке приложена еще одна сила

$$\boldsymbol{Q} = -m\boldsymbol{a}. \qquad (154)$$

Тогда, как это видно из (153), все три силы взаимно уравновешиваются. Эта фиктивная по отношению к движущейся точке сила $\boldsymbol{Q}$ называется с и л о ю и н е р ц и и. Т. о. получается, что данная материальная точка, находящаяся под действием сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$, движется так, что в каждый момент движения силы $\boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{R}$ и сила инерции взаимно уравновешиваются. В этом собственно и заключается т. наз. п р и н ц и п, или н а ч а л о, Д'А л а м б е р а. Равнодействующая сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{Q}$, равная $-\boldsymbol{R}$, называется п о т е р я н н о ю с и л о ю (фиг. 46). Очевидно также, что сила инерции $\boldsymbol{Q}$ по величине своей равна эффективной силе $\boldsymbol{\Phi}$, но по направлению противоположна последней, так что $\boldsymbol{Q} = -\boldsymbol{\Phi}$. При всей своей простоте принцип Д'Аламбера во многих случаях значительно облегчает исследование законов движения точки, сводя вопрос о движении точки к вопросу о ее равновесии.

Допустим, что материальная точка вынуждена перемещаться по некоторой кривой C. Спроектируем силы $\boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{R}$ и $\boldsymbol{Q}$ на направления: касательной к кривой, проведенной в сторону движения точки, главной нормали, проведенной к центру кривизны кривой в рассматриваемом положении точки, и бинормали (фиг. 47). Так как $\boldsymbol{R}$ нормальна к кривой, т. е. $\boldsymbol{R} \perp \boldsymbol{\tau}_1$, где $\boldsymbol{\tau}_1$ попрежнему единичный вектор, определяющий направление касательной, то, обозначая компоненту $\boldsymbol{F}$ по касательной через $\boldsymbol{F}_t$, имеем из (117) и (149):

$$\boldsymbol{F}_t - m\frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}_1 = 0. \qquad (155)$$

Обозначая компоненты $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$ по главной нормали через $\boldsymbol{F}_n$ и $\boldsymbol{R}_n$, имеем из (118) и (149):

$$\boldsymbol{F}_n + \boldsymbol{R}_n - \frac{mv^2}{\varrho}\boldsymbol{\varrho}_1 = 0. \qquad (156)$$

Компонента силы инерции $\boldsymbol{Q}$ по главной нормали

$$\boldsymbol{Q}_n = -\frac{mv^2}{\varrho}\boldsymbol{\varrho}_1 \qquad (156')$$

называется ц е н т р о б е ж н о й с и л о й и н е р ц и и. Если точка движется по окружности с угловой скоростью ω, то, так как $v = \omega r$ и $\varrho = r$, имеем:

$$\boldsymbol{Q}_n = -m\omega^2 r\,\boldsymbol{\varrho}_1 \qquad (156'')$$

При равномерном круговом движении

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{Q}_n.$$

Т. к. далее по (47) проекция полного ускорения $\boldsymbol{a}$ на бинормаль равна 0, то из (153) имеем также

$$\boldsymbol{F}_b + \boldsymbol{R}_b = 0, \qquad (157)$$

где $\boldsymbol{F}_b$ и $\boldsymbol{R}_b$ суть компоненты сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$ по бинормали. В виду того, что $\boldsymbol{R}$ при абсолютно гладких связях всегда нормальна к траектории точки, находящейся под действием этих связей, то полная работа $\boldsymbol{R}$ при любом перемещении точки равняется нулю, что справедливо и для вышеуказанных крайних случаев ($\boldsymbol{R} = 0$ или $\boldsymbol{v} = 0$). Таким образом

$$\int \boldsymbol{R} \cdot d\boldsymbol{r} = 0. \qquad (158)$$

Допустим, что точка, находящаяся под действием связи, представляемой поверхностью S, начала перемещаться из состояния покоя под действием сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$. Это движение в начальный момент происходит по направлению равнодействующей их, т. е. по направлению эффективной силы $\boldsymbol{\Phi}$. Очевидно, что элементарная работа обеих сил в этот момент положительна, так что

$$(\boldsymbol{F} + \boldsymbol{R}) \cdot d\boldsymbol{r} > 0$$

и так как

$$\boldsymbol{R} \cdot d\boldsymbol{r} = 0, \qquad (158')$$

то

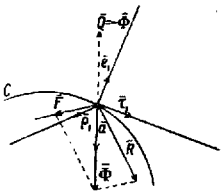
$$\boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{r} > 0,$$

т. е. $F\,dr\cos(\boldsymbol{F}, d\boldsymbol{r}) > 0$ или $\cos(\boldsymbol{F}, d\boldsymbol{r}) > 0$.

Отсюда видно, что начальное элементарное перемещение $d\boldsymbol{r}$ образует с силою $\boldsymbol{F}$ острый угол. Если сила $\boldsymbol{F}$ потенциальна, то так как по (133′) $dT = \boldsymbol{F} \cdot d\boldsymbol{r} = -dU$, то следовательно в рассматриваемый момент

$$dU < 0, \qquad (159)$$

т. е., другими словами, при начале движения потенциал U должен убывать. Отсюда следует, что если среди всех возможных элементарных перемещений, допускаемых данной связью, нет ни одного, при к-ром бы потенциал U убывал, то точка под действием сил $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{R}$ не может притти в движение и следовательно будет находиться в равновесии. Такой случай может представиться напр., если точка находится на поверхности S в таком положении, при котором U принимает максимальное или минимальное значения, так как в этом случае при всех возможных элементарных перемещениях, допускаемых связью, $dU = 0$. В случае, если в качестве силы $\boldsymbol{F}$ является вес материальной точки $\boldsymbol{P} = m\boldsymbol{g}$, то так как в этом случае по (146)



Фиг. 47.

$$dU = mg\,dz$$

и так как в начале движения $dU < 0$, то в этот же момент

$$dz < 0,$$

т. е. весомая точка начинает двигаться под действием сил $\boldsymbol{P}$ и $\boldsymbol{R}$ так, что z убывает, т. е. начинает двигаться вниз. Т. к. работа силы $\boldsymbol{R}$ при движении точки равняется нулю, то ур-ия (125) и (125′) применимы и для несвободной точки, рассматриваемой как точка, к которой как будто бы никакие реакции связей не приложены. Если же сила

$\boldsymbol{F}$ потенциальна, то и ур-ие (135) м. б. применено при таком же игнорировании силы $\boldsymbol{R}$. Отсюда между прочим следует, что если имеем ряд материальных точек, падающих под действием силы тяжести в пустоте с одной и той же высоты, причем одни из них свободны, а другие вынуждены перемещаться по гладким поверхностям или кривым, то, находясь на одной и той же высоте, все они имеют одну и ту же скорость. Пусть нек-рая материальная точка вынуждена перемещаться по гладкой кривой C. Так как по (158′)

$$\boldsymbol{R}\cdot d\boldsymbol{r}=0,$$

то, умножая скалярно левую часть ур-ия (153) на $d\boldsymbol{r}$, получаем:

$$\boldsymbol{F}\cdot d\boldsymbol{r}-m\boldsymbol{a}\cdot d\boldsymbol{r}=0. \qquad (160)$$

Допустим, что рассматриваемая точка находится в покое. Тогда имеем из (160), так как $\boldsymbol{a}=0$:

$$\boldsymbol{F}\cdot d\boldsymbol{r}=0, \qquad (161)$$

т. е. $\boldsymbol{F}\perp d\boldsymbol{r}$. Т. о. для того, чтобы точка, находящаяся под воздействием связи C, была в равновесии, достаточно, чтобы движущая сила $\boldsymbol{F}$ была нормальна к кривой C. Если же точка перемещается по кривой C, причем $\boldsymbol{F}=0$, то из (155) имеем

$$m\frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau}_1=0,$$

и следовательно $v=\mathrm{Const}$, так что в рассматриваемом случае точка перемещается по кривой с постоянною линейною скоростью v. Из (157) и (156) имеем также в этом случае

$$\boldsymbol{R}_b=0 \qquad (162)$$

и

$$\boldsymbol{R}_n=\frac{mv^2}{\varrho}\boldsymbol{\varrho}_1, \qquad (163)$$

т. е. что

$$\boldsymbol{R}=\boldsymbol{R}_b+\boldsymbol{R}_n=\boldsymbol{R}_n=\frac{mv^2}{\varrho}\boldsymbol{\varrho}_1. \qquad (164)$$

Выводы, касающиеся движения точки по данной кривой или по данной поверхности, имеют большое прикладное значение, как напр. при исследовании движения маятника и во многих других случаях (см. *Маятник*, *Колебательные движения*).

До сих пор мы рассматривали связи, не зависящие от времени t, т. е. не изменяющиеся с течением времени. Однако может случиться, что во время перемещения точки по данной связи сама связь также изменяется, что имеет напр. место, если точка перемещается по кривой или же по поверхности, к-рые в свою очередь перемещаются в пространстве. В последнем случае уравнения (151) кривой C или уравнение (150) поверхности S содержат в явной форме помимо переменных x, y, z также и переменную t. Для определения движения материальной точки, находящейся под действием силы $\boldsymbol{F}$ при наличии связи, зависящей от t, можно поступать точно таким же образом, как и выше, т. е. исходить из содержащихся в (149) трех основных координатных ур-ий динамики в соединении с тремя ур-иями, выражающими данную связь и перпендикулярность ее реакции. Но в дальнейшем выводы о движении точки при наличии связи, не зависящей от времени, к рассматриваемому случаю неприменимы. В то время как в первом случае, напр. траектория, описываемая точкою в пространстве, вполне совпадает со связью, осуществляемой кривою C, во втором траектория точки отличается от кривой C; вследствие этого сила $\boldsymbol{R}$ перпендикулярна к траектории при связи, не зависящей от времени, и не перпендикулярна к траектории при связи, зависящей от t. Если точка вынуждена перемещаться по прямой, в свою очередь вращающейся около одной из своих точек, то очевидно, что траектория точки есть некоторая кривая, и что перпендикулярная к прямой сила $\boldsymbol{R}$ не будет перпендикулярна к траектории точки.

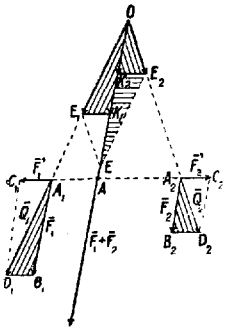
Выше при установлении уравнения (153) мы видели, что законы движения точки м. б. сведены к законам равновесия точки, находящейся под действием определенных сил, и что это обстоятельство упрощает в значительной степени исследование законов движения. Этот метод оказывается еще в большей мере полезным при исследовании движения системы материальных точек. Поэтому целесообразно сначала установить общие законы статики точки и твердого тела, а затем перейти к исследованию законов движения системы точек и в частности—твердого тела.

Статика. Допустим, что к какому-нибудь твердому телу приложена система сил $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, ..., $\boldsymbol{F}_n$, величины, направления и линии действия которых известны. Основной задачей статики является определение условий, при которых данные силы взаимно уравновешиваются или, если данные силы не уравновешиваются, то каковы д. б. те силы, которые необходимо прибавить, чтобы равновесие имело место. При этом нужно различать следующие системы сил: 1) сходящуюся систему сил, т. е. такую систему сил, линии действия которых пересекаются в одной точке, в отличие от несходящейся системы сил, линии действия к-рых в одной точке не пересекаются; 2) плоскую систему сил, т. е. систему сил, линии действия которых лежат в одной плоскости, в отличие от неплоской системы, у которой линии действия сил в одной плоскости не лежат. В основе всех выводов статики лежит следующий принцип: для того чтобы две силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$, приложенные к одному и тому же телу, взаимно уравновешивались, необходимо и достаточно, чтобы силы были равны по величине, противоположны по направлению и чтобы линии действия их совпадали (3-й закон Ньютона); при этом расстояние между точками приложения сил никакой роли не играет. Отсюда следует, что все силы, имеющие одну и ту же величину, общую линию действия и направленные в одну и ту же сторону,—эквивалентны. Вследствие этого вектор силы в статике принадлежит к категории так наз. скользящих векторов. Отсюда также следует, что для полного определения силы необходимо знать не только ее величину и направление, но и линию действия ее.

Пусть к данному телу приложена сходящаяся система сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, линии дей-

ствия к-рых пересекаются в точке O. Переместив все силы по линиям их действия так, чтобы точки приложения их совпали с точкою O, получим новую систему сил $\boldsymbol{F}_1'$, $\boldsymbol{F}_2'$, ..., $\boldsymbol{F}_n$, эквивалентную данной. Заменив последнюю систему сил их равнодействующей $\boldsymbol{F}$, по вышеприведенному способу, т. е. построив на этих силах силовой мн-к и проведя замыкающую сторону от точки O к концу силового мн-ка, получим также и равнодействующую для данной системы сил. Очевидно, что если прибавить к данной системе сил силу $-\boldsymbol{F}$, то вся совокупность сил уравновесится; поэтому сила $-\boldsymbol{F}$ называется уравновешивающей.

Пусть к данному телу приложена плоская несходящаяся система сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, линии действия к-рых суть $l_1, l_2, \ldots, l_n$. Продолжив линии действия l_1 и l_2 до их взаимного пересечения в точке O_1 и сместив $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ в эту точку, заменим их одной равнодействующей $\boldsymbol{F}_{12} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$. Продолжив затем линию действия l_{12} силы $\boldsymbol{F}_{12}$ до пересечения с прямой l_3 в точке O_2, заменим аналогичным способом силы $\boldsymbol{F}_{12}$ и $\boldsymbol{F}_3$ одною равнодействующей $\boldsymbol{F}_{13}$ и т. д. Т. о. всю данную плоскую несходящуюся систему сил можно в общем привести к одной равнодействующей силе $\boldsymbol{F}$. Однако, если в процессе последовательного сложения сил встретятся параллельные силы, то приведенный метод очевидно неприменим, ибо соответствующие им линии действия не дают точки пересечения, находящейся на конечном расстоянии. В этом случае сложение сил м. б. произведено след. образом. Допустим, что к двум различным точкам тела A_1 и A_2 (фиг. 48) приложены две силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$, параллельные и направленные в одну и ту же сторону, причем пусть $\boldsymbol{F}_1 = \overrightarrow{A_1B_1}$ и $\boldsymbol{F}_2 = \overrightarrow{A_2B_2}$. Соединив точки A_1 и A_2 прямою A_1A_2, приложим к ним 2 силы $\boldsymbol{F}_1' = \overrightarrow{A_1C_1}$ и $\boldsymbol{F}_2' = \overrightarrow{A_2C_2}$, равные по величине, противоположные по направлению и линии действия к-рых совпадают с A_1A_2. Очевидно, что система сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_1', \boldsymbol{F}_2'$ эквивалентна совокупности первоначальных двух сил. Заменив силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_1'$ их равнодействующей $\boldsymbol{Q}_1 = \overrightarrow{A_1D_1} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_1'$, а силы $\boldsymbol{F}_2$ и $\boldsymbol{F}_2'$ равнодействующей $\boldsymbol{Q}_2 = \overrightarrow{A_2D_2} = \boldsymbol{F}_2 + \boldsymbol{F}_2'$, получим новую систему сил $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$, эквивалентную первоначальной. Т. к. $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$ уже не параллельны, то, продолжив линии действия их до пересечения их в точке O и сместив силы $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$ в точку O, так что $\overrightarrow{OE_1} = \boldsymbol{Q}_1$ и $\overrightarrow{OE_2} = \boldsymbol{Q}_2$, получим равнодействующую силу $\boldsymbol{F} = \overrightarrow{OE} = \overrightarrow{OE_1} + \overrightarrow{OE_2}$ как для системы $\boldsymbol{Q}_1, \boldsymbol{Q}_2$, так равно и для данной системы сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2$. Проведя далее из точек E_1 и E_2 прямые E_1K_1 и E_2K_2, параллельные A_1A_2, имеем:



Фиг. 48.

$\triangle OE_1K_1 = \triangle A_1D_1B_1$ и $\triangle OE_2K_2 = \triangle A_2D_2B_2$, так что $\overline{OK_1} = F_1$ и $\overline{OK_2} = F_2$. С другой стороны, так как $\triangle OE_1K_1 = \triangle EK_2E_2$, то $\overline{OK_1} = \overline{K_2E}$ и $\overline{E_1K_1} = \overline{E_2K_2}$. Таким образом имеем: $F = \overline{OE} = \overline{OK_2} + \overline{K_2E} = \overline{OK_2} + \overline{OK_1} = F_1 + F_2$, т. е. что величина (т. наз. модуль) равнодействующей силы равняется сумме величин сил составляющих. Так как $\overline{OE} \parallel F_1 \parallel F_2$, то имеем также $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$. Продолжив OE до пересечения с A_1A_2 в точке A, имеем далее:

$$\triangle AA_1O \sim \triangle K_1E_1O \text{ и } \triangle AA_2O \sim \triangle K_2E_2O,$$

так что

$$\frac{\overline{AA_1}}{\overline{E_1K_1}} = \frac{\overline{AO}}{\overline{K_1O}} \text{ и } \frac{\overline{AA_2}}{\overline{E_2K_2}} = \frac{\overline{AO}}{\overline{K_2O}}.$$

Деля почленно последние два равенства, имеем:

$$\frac{\overline{AA_1} \cdot \overline{E_2K_2}}{\overline{AA_2} \cdot \overline{E_1K_1}} = \frac{\overline{K_2O}}{\overline{K_1O}},$$

или, принимая во внимание, что $\overline{E_1K_1} = \overline{E_2K_2}$, получаем:

$$\frac{\overline{AA_1}}{\overline{AA_2}} = \frac{F_2}{F_1}. \qquad (165)$$

Т. о. линия действия равнодействующей $\boldsymbol{F}$ делит отрезок A_1A_2 внутренним образом на части, обратно пропорциональные величинам сил F_1 и F_2. Из (165) имеем далее:

$$\frac{AA_1}{AA_1 + AA_2} = \frac{F_2}{F_1 + F_2}, \text{ или } \frac{\overline{AA_1}}{\overline{A_1A_2}} = \frac{F_2}{F}. \qquad (166)$$

Если повернуть силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ около точек их приложения, сохраняя при этом их величины и параллельность, то т. к. при этом величины $\overline{A_1A_2}$, F_2 и F, как видно из (166), не изменятся, не изменится и расстояние AA_1, т. е. линия действия системы повернутых сил будет также проходить через точку A, к-рая вследствие этого и называется центром данных параллельных сил. Если $\boldsymbol{r}_1$, $\boldsymbol{r}_2$ и $\boldsymbol{r}$—радиусы-векторы, определяющие соответственно положения точек A_1, A_2 и A, то, так как эти точки лежат на одной прямой, имеем:

$$[(\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}_1)(\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1)] = 0, \qquad (167)$$

или, что равносильно:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1}, \qquad (167')$$

где x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 — координаты точек A_1 и A_2. Ур-ие (167) или (167′) представляют собой ур-ия прямой A_1A_2. Если координаты центра A параллельных сил обозначить через x_0, y_0, z_0, то из (167′) и (166) имеем:

$$\frac{x_0 - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_0 - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z_0 - z_1}{z_2 - z_1} = \frac{\overline{AA_1}}{\overline{A_1A_2}} = \frac{F_2}{F_1 + F_2} = \frac{F_2}{F}. \qquad (168)$$

Из последних равенств получаем:

$$\left.\begin{aligned} x_0F &= x_1F_1 + x_2F_2 \\ y_0F &= y_1F_1 + y_2F_2 \\ z_0F &= z_1F_1 + z_2F_2 \end{aligned}\right\}, \qquad (169)$$

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= \frac{x_1F_1 + x_2F_2}{F_1 + F_2} \\ y_0 &= \frac{y_1F_1 + y_2F_2}{F_1 + F_2} \\ z_0 &= \frac{z_1F_1 + z_2F_2}{F_1 + F_2} \end{aligned}\right\}. \qquad (169')$$

Последние равенства определяют положение центра данных двух параллельных сил в зависимости от координат их точек приложения и от их величин. Если имеем три параллельные силы $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, $\boldsymbol{F}_3$, то, рассматривая отдельные силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$, имеем координаты центра их по (169′):

$$x_0' = \frac{x_1F_1 + x_2F_2}{F_1 + F_2}\ ;\ y_0 = \frac{y_1F_1 + y_2F_2}{F_1 + F_2}\ ;\ z_0' = \frac{z_1F_1 + z_2F_2}{F_1 + F_2}.$$

Рассматривая затем систему, состоящую из равнодействующей $\boldsymbol{F}_{1-2} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$ и третьей силы $\boldsymbol{F}_3$, получаем координаты центра всей данной системы:

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= \frac{x_0'F_{1-2} + x_3F_3}{F_{1-2} + F_3} = \frac{x_1F_1 + x_2F_2 + x_3F_3}{F_1 + F_2 + F_3} \\ \text{и аналогично:}\quad y_0 &= \frac{y_1F_1 + y_2F_2 + y_3F_3}{F_1 + F_2 + F_3} \\ z_0 &= \frac{z_1F_1 + z_2F_2 + z_3F_3}{F_1 + F_2 + F_3} \end{aligned}\right\} \cdot (169'')$$

Обобщая этот вывод для случая n сил, имеем в общем:

$$x_0 = \frac{\sum_1^n F_ix_i}{\sum_1^n F_i};\quad y_0 = \frac{\sum_1^n F_iy_i}{\sum_1^n F_i};\quad z_0 = \frac{\sum_1^n F_iz_i}{\sum_1^n F_i}. \qquad (170)$$

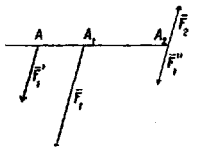
В частности силами $\boldsymbol{F}$ могут явиться силы веса $\boldsymbol{P}_1 = m_1\boldsymbol{g}$; $\boldsymbol{P}_2 = m_2\boldsymbol{g}$; ...; $\boldsymbol{P}_n = m_n\boldsymbol{g}$ системы материальных точек, массы которых— m_1, m_2, ..., m_n. Тогда имеем из (170):

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= \frac{\Sigma P_ix_i}{\Sigma P_i} = \frac{\Sigma m_ix_i}{\Sigma m_i} \\ y_0 &= \frac{\Sigma P_iy_i}{\Sigma P_i} = \frac{\Sigma m_iy_i}{\Sigma m_i} \\ z_0 &= \frac{\Sigma P_iz_i}{\Sigma P_i} = \frac{\Sigma m_iz_i}{\Sigma m_i} \end{aligned}\right\}, \qquad (171)$$

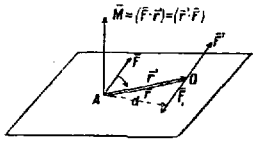
что м. б. представлено одним векторным равенством

$$m\boldsymbol{r}_0 = \Sigma m_i\boldsymbol{r}_i, \qquad (171')$$

где m—масса всей системы точек. В этом случае центр параллельных сил называется центром тяжести, или центром



Фиг. 49.



Фиг. 50.

масс, системы материальных точек. Если система точек—твердое тело, то, обозначая вес элемента тела через $d\boldsymbol{P} = dm \cdot \boldsymbol{g}$, имеем, суммируя (171) по всему объему тела:

$$\left.\begin{aligned} x_0 &= \frac{\int_{(v)} dP \cdot x}{P} = \frac{\int_{(v)} dm \cdot x}{m} \\ y_0 &= \frac{\int_{(v)} dP \cdot y}{P} = \frac{\int_{(v)} dm \cdot y}{m} \\ z_0 &= \frac{\int_{(v)} dP \cdot z}{P} = \frac{\int_{(v)} dm \cdot z}{m} \end{aligned}\right\}, \qquad (172)$$

где P и m—вес и масса всего тела (см. *Масса*). В рассмотренных выше случаях силы были параллельны и направлены в одну и ту же сторону.

Для того чтобы сложить две силы F_1 и F_2 антипараллельные (фиг. 49), т. е. две силы параллельные, но направленные в противоположные стороны, можно проще всего поступить след. образом. Пусть $F_1 > F_2$. Очевидно на основе вышесказанного можно силу $\boldsymbol{F}_1$ представить как равнодействующую двух параллельных ей сил: $\boldsymbol{F}''$, приложенную к точке приложения A_2 силы $\boldsymbol{F}_2$ и равную по величине этой последней силе, и $\boldsymbol{F}_1' = \boldsymbol{F}_1 - \boldsymbol{F}_1''$, приложенную к нек-рой точке A. Тогда вместо системы сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ имеем систему $\boldsymbol{F}_1'$, $\boldsymbol{F}_1''$ и $\boldsymbol{F}_2$, а так как силы $\boldsymbol{F}_1'$ и $\boldsymbol{F}_2$ взаимно уничтожаются, то остается одна лишь сила $\boldsymbol{F}'$, равная по величине $F_1 - F_2$ и приложенная к точке A, положение к-рой определяется след. обр. Из (166) имеем:

$$\frac{\overline{A_1A}}{\overline{A_1A_2}} = \frac{F_1'}{F_1'}; \qquad (173)$$

$$\frac{\overline{AA_1}}{\overline{A_1A_2} + \overline{AA_1}} = \frac{F_1''}{F_1' + F_1''} \text{ или } \frac{\overline{AA_1}}{\overline{AA_2}} = \frac{F_2}{F_1}, \qquad (173')$$

следовательно точка A делит отрезок A_1A внешним образом на части, обратно пропорциональные величинам данных сил. Из (173) имеем также:

$$\overline{AA_1} = \overline{A_1A_2} \cdot \frac{F_1}{F_1'} = \overline{A_1A_2} \cdot \frac{F_2}{F_1 - F_2}.$$

Из последнего равенства видно, что, чем больше $\boldsymbol{F}_2$ приближается по величине к $\boldsymbol{F}_1$, тем дальше отодвигается точка A, и тем меньше становится F_1', так что в пределе при $F_1 = F_2$ получаем: $\overline{AA_1} = \infty$ и $F_1' = 0$. Таким образом две равные антипараллельные силы не имеют равнодействующей силы. Совокупность таких двух сил носит название *пары сил* (см.).

Из предыдущего ясно, что совокупность параллельных и антипараллельных сил можно привести к одной равнодействующей, величина которой равняется алгебраич. сумме величин сил составляющих, причем силы, направленные в одну сторону, берутся с одним знаком, а силы, направленные в другую сторону,—с противоположным знаком. При сохранении последн. правила формулы (170) определяют также положение центра рассматриваемой системы параллельных и антипараллельных сил. Если в частности $\Sigma F_i = 0$, то положение центра становится неопределенным; в этом случае вся система сил либо приводится к паре сил, либо силы взаимно уравновешиваются. Последний случай очевидно имеет место, если линия действия равнодействующей всех сил, направленных в одну сторону, совпадает с линией действия равнодействующей сил, направленных в противоположную сторону; первый же случай имеет место, если эти линии действия не совпадают.

Пусть к точке A нек-рого тела приложена сила $\boldsymbol{F}$ (фиг. 50). Возьмем на теле какую-нибудь другую точку O, положение к-рой по отношению к системе отсчета с началом в A определяется радиусом-вектором $\boldsymbol{r}'$. Приложим к O две силы $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}_1$, первую параллельно, а вторую антипараллельно $\boldsymbol{F}$, причем пусть $F' = F_1 = F$. Система сил $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}$, эквивалентная силе $\boldsymbol{F}$, м. б. рассматри-

ваема как состоящая из силы $\boldsymbol{F}'$ и пары сил $(\boldsymbol{F}, \boldsymbol{F}_1)$. Т. о. силу $\boldsymbol{F}$ можно перенести, сохраняя ее величину и направление, в другую точку тела, прибавив при этом соответствующую пару сил. Момент пары сил, которую следует прибавить, равен (см. *Пара сил*):

$$\boldsymbol{M} = [\boldsymbol{F}\,\boldsymbol{r}'], \qquad (174)$$

или, если обозначить вектор $\overrightarrow{OA}$ через $\boldsymbol{r} = -\boldsymbol{r}'$, то

$$\boldsymbol{M} = [\boldsymbol{r}\,\boldsymbol{F}]. \qquad (174')$$

Последний вектор определяет также момент силы $\boldsymbol{F}$ относительно точки O. Если длина перпендикуляра, опущенного из O на линию действия силы F, равняется d, то получаем:

$$M = Fr\sin(\boldsymbol{F}, \boldsymbol{r}) = Fd. \qquad (174'')$$

Нетрудно видеть, что если O лежит на линии действия $\boldsymbol{F}$, то т. к. в этом случае $d=0$, то и $M=0$; $\boldsymbol{M}=0$. Пользуясь ф-лами векторного исчисления, имеем из (174'):

$$\left.\begin{aligned} M_x &= yZ - zY \\ M_y &= zX - xZ \\ M_z &= xY - yX \end{aligned}\right\}, \qquad (175)$$

где x, y, z—координаты точки A по отношению к системе осей с началом в O, а X, Y, Z—модули компонент $\boldsymbol{F}$ по этим же осям. Векторы $\boldsymbol{M}_x = M_x\boldsymbol{i}$; $\boldsymbol{M}_y = M_y\boldsymbol{j}$; $\boldsymbol{M}_z = M_z\boldsymbol{k}$ называются моментами силы $\boldsymbol{F}$ по отношению к осям координат. В частности, если $\boldsymbol{F}$ лежит в плоскости xy, то т. к. $z=0$ и $Z=0$, имеем из (175):

$$M_x = 0;\ M_y = 0;\ M_z = xY - yX.$$

Последнее равенство представляет собой также момент рассматриваемой силы $\boldsymbol{F}$ относительно начала O. Отсюда видно, что проекция момента какой-либо силы, взятого относительно нек-рой точки, на какую-либо ось равняется моменту проекции силы на плоскость, перпендикулярную к оси, взятому по отношению к точке пересечения оси с плоскостью. Если к телу приложены n сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, то, взяв на теле произвольную точку O, можно к ней перенести все данные силы, сохраняя их величину и направление и прибавляя соответствующие этим переносам пары сил, моменты к-рых по (174') будут равны:

$$\boldsymbol{M}_i = [\boldsymbol{r}_i\,\boldsymbol{F}_i] \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \qquad (176)$$

а модули моментов определяются равенствами (175). Все силы $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, приведенные к точке O, м. б. затем заменены одной равнодействующей силой:

$$\boldsymbol{F} = \sum_1^n \boldsymbol{F}_i' = \sum_1^n \boldsymbol{F}_i, \qquad (177)$$

а все пары—одною равнодействующей парою, момент к-рой (см. *Пара сил*)

$$\boldsymbol{M} = \sum_1^n \boldsymbol{M}_i = \sum_1^n [\boldsymbol{r}_i\,\boldsymbol{F}_i]. \qquad (178)$$

Последний вектор называется главным моментным вектором системы сил по отношению к данной точке приведения сил. Т. о. всякую систему сил можно привести бесчисленным множеством способов к одной силе и одной паре сил. Очевидно для того, чтобы силы данной системы взаимно уравновешивались, необходимо и достаточно, чтобы как сила $\boldsymbol{F}$, так и главный моментный вектор $\boldsymbol{M}$ равнялись нулю, т. е. чтобы

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{F} &= \sum_1^n \boldsymbol{F}_i = 0 \\ \boldsymbol{M} &= \sum_1^n \boldsymbol{M}_i = \sum_1^n [\boldsymbol{r}_i\,\boldsymbol{F}_i] = 0 \end{aligned}\right\}, \qquad (179)$$

что равносильно наличию шести ур-ий:

$$\sum_1^n X_i = 0;\quad \sum_1^n Y_i = 0;\quad \sum_1^n Z_i = 0; \qquad (179')$$

$$\sum_1^n (y_i Z_i - z_i Y_i) = 0;\quad \sum_1^n (z_i X_i - x_i Z_i) = 0;$$

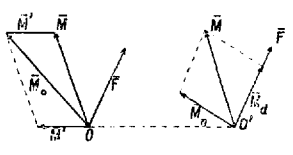
$$\sum_1^n (x_i Y_i - y_i X_i) = 0. \qquad (179'')$$

В частности, если система сил сходящаяся, то для равновесия системы необходимо и достаточно наличия только трех ур-ий (179'), если система плоская—необходимо и достаточно наличия двух каких-либо уравнений (179') и соответствующего одного ур-ия из (179''); если же наконец система плоская и сходящаяся, то для равновесия системы необходимо и достаточно наличия только двух из ур-ий (179').

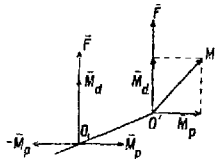
Допустим, что данная система сил, приведенная к точке O', дала равнодействующую силу $\boldsymbol{F}$ и равнодействующую пару момента $\boldsymbol{M}$. Если мы возьмем затем другую точку приведения O, то равнодействующая $\boldsymbol{F}$ остается та же; изменится лишь главный моментный вектор, превратившись в

$$\boldsymbol{M}_0 = \boldsymbol{M} + \boldsymbol{M}', \qquad (180)$$

где $\boldsymbol{M}'$—момент той пары, которую следует прибавить при перемещении $\boldsymbol{F}$ из O' в O (фиг. 51). Разложим момент $\boldsymbol{M}$ (фиг. 52),



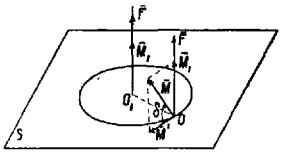
Фиг. 51.



Фиг. 52.

получившийся при приведении системы сил к точке O', на две составляющие: $\boldsymbol{M}_d$—по направлению равнодействующей силы $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{M}_p$—по перпендикулярному к $\boldsymbol{F}$ направлению. Проведя к плоскости $(\boldsymbol{F}, \boldsymbol{M})$ в точке O' перпендикулярную прямую, можно очевидно найти на этой прямой такую точку O_1, что при перенесении силы $\boldsymbol{F}$ из O' в O_1 нужно будет прибавить пару момента $\boldsymbol{M}' = -\boldsymbol{M}_p$. Т. о. при приведении данной системы к точке O_1 и получаются сила $\boldsymbol{F}$ и три момента пар $\boldsymbol{M}_d$, $\boldsymbol{M}_p$ и $\boldsymbol{M}'$, причем последние два момента взаимно уничтожаются, так что остаются только сила $\boldsymbol{F}$ и направленный по ней момент пары $\boldsymbol{M}_d$. Отсюда видно, что всякую систему сил можно привести к одной силе и одной паре, момент которой совпадает с направлением силы (см. *Винт* в теоретич. механике). Из вышесказанного следует, что всякой точке тела при данной

системе сил соответствует определенная пара векторов $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{M}$; при переходе от одной точки тела к другой меняется лишь вектор $\boldsymbol{M}$, вектор же $\boldsymbol{F}$ один и тот же для всех точек тела. Нетрудно однако убедиться, что если провести какую-нибудь прямую l, параллельную $\boldsymbol{F}$, то моментный вектор для всех точек этой прямой будет один и тот же. В самом деле, пусть система сил, приведенная к точке O, не лежащей на l, дала векторы $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{M}$. Т. к. расстояние d от O до l остается одно и то же, какую бы мы точку на прямой l ни взяли, то, как видно из (174′), момент $\boldsymbol{M}'$ силы $\boldsymbol{F}$ по отношению к любой точке O' прямой l будет один и тот же, почему при приведении системы сил к любой точке прямой l придется к $\boldsymbol{M}$ прибавлять один и тот же вектор $\boldsymbol{M}'$, что и доказывает вышеприведенное предложение. Отсюда следует, что если провести плоскость S, перпендикулярную к $\boldsymbol{F}$, то, исследовав характер изменений вектора $\boldsymbol{M}$ для всех точек этой плоскости, мы тем самым исследуем характер этих изменений для всех точек тела. Если точке O_1 плоскости S (фиг. 53) соответствуют векторы $\boldsymbol{F}$ и $\boldsymbol{M}_1 \parallel \boldsymbol{F}$, то, перейдя к другой точке O той же плоскости, т. е. перенеся силу $\boldsymbol{F}$ из O_1 в O, получим от этого переноса новый момент $\boldsymbol{M}'$, перпендикулярный плоскости $(\boldsymbol{M}_1, \overline{O_1O})$, причем $M' = F \cdot \overline{O_1O}$, и главный момент относительно O будет:



Фиг. 53.

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{M}_1 + \boldsymbol{M}', \qquad (181)$$

или

$$M^2 = M_1^2 + M'^2 = M_1^2 + F^2 \cdot \overline{O_1O}^2 \qquad (181')$$

и

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{M_1}{M'}, \qquad (181'')$$

где δ — угол между $\boldsymbol{M}$ и $\boldsymbol{M}'$. Если провести в плоскости S из O_1 радиусом $\overline{O_1O}$ окружность, то так как M' для всех точек окружности один и тот же, то и M для всех этих точек при данной системе сил есть величина постоянная, причем, как видно из (181′) и (181″), с удалением O от O_1 величина M увеличивается, а вектор $\boldsymbol{M}$ все больше наклоняется к плоскости S. Если перейти к точкам в пространстве, то нетрудно усмотреть, что все точки, лежащие на круглой цилиндрической поверхности, ось которой проходит через точку O_1, перпендикулярно S, будут иметь одну и ту же величину M. Ось цилиндра, представляющая геометрич. место точек, по отношению к к-рым данная система сил приводится к совпадающим по направлению силе $\boldsymbol{F}$ и главному моменту $\boldsymbol{M}$, называется центральной осью данной системы сил. Очевидно, что для точек центральной оси величина M достигает своего минимума. В частности, если в точке O_1 главный моментный вектор равен нулю, то система сил для всех точек тела приводится к одной силе $\boldsymbol{F}$. Очевидно в этом случае

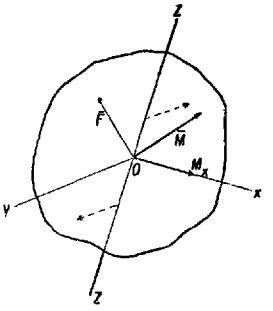
$$\boldsymbol{M} \cdot \boldsymbol{F} = \sum_1^n \boldsymbol{M}_i \cdot \sum_1^n \boldsymbol{F}_i = 0, \qquad (182)$$

или по (174′)

$$\sum_1^n [\boldsymbol{r}_i \boldsymbol{F}_i] \cdot \sum_1^n \boldsymbol{F}_i = 0. \qquad (182')$$

Если же $\boldsymbol{F} = 0$, то положение центральной оси становится неопределенным, так как вся система сил приводится к паре, момент которой $\boldsymbol{M}$ свободен, т. е. момент к-рой м. б. перемещаем параллельно самому себе в любую точку тела (см. *Пара сил*).

При выводе условий равновесия (179) мы полагали, что тело, к которому приложены данные силы $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$, свободно. Допустим однако, что тело находится под воздействием не только сил $\boldsymbol{F}_i$, но и нек-рых связей. Очевидно, что, присовокупив силы реакции связей к данным силам $\boldsymbol{F}_i$, мы можем тело вновь рассматривать как свободное, к к-рому следовательно применимы условия равновесия (179), с тем однако отличием, что в числе сил $\boldsymbol{F}_i$ этих равенств находятся также и силы реакции связей. Допустим, в теле имеется неподвижно закрепленная прямая, вокруг которой оно способно вращаться. Выбрав эту прямую в качестве оси z (фиг. 54), зафиксируем на ней начало O, к к-рому приведем систему сил, приложенных к телу. Действие равнодействующей силы $\boldsymbol{F}$ очевидно уничтожится реакцией неподвижной оси: главный же моментный вектор $\boldsymbol{M}$ м. б. разложен на компоненты $\boldsymbol{M}_x, \boldsymbol{M}_y, \boldsymbol{M}_z$. Силы пары, момент к-рой равен $\boldsymbol{M}_x$, параллельны оси y и приложены к точкам неподвижной оси, вследствие чего действие их уничтожается реакцией оси; точно так же уничтожается действие пары, момент которой равен $\boldsymbol{M}_y$. Остается только пара с моментом $\boldsymbol{M}_z$, вращающая тело около оси z; момент $\boldsymbol{M}_z$ называется вращающим моментом. Для того чтобы рассматриваемое тело находилось в равновесии, необходимо и достаточно, чтобы $\boldsymbol{M}_z = 0$, т. е., как видно из (179″), чтобы



Фиг. 54.

$$\sum_1^n (x_i Y_i - y_i X_i) = 0. \qquad (183)$$

Т. о. вместо 6 ур-ий (179′) и (179″), необходимых и достаточных для равновесия системы сил, приложенных к свободному телу, мы здесь имеем лишь одно необходимое и достаточное условие для равновесия. Остальные же пять ур-ий определяют силы реакции оси, приложенные к телу, к-рые очевидно состоят из силы $-\boldsymbol{F}$ и пар, моменты которых равны $-\boldsymbol{M}_x$ и $-\boldsymbol{M}_y$. Если ось O_z может перемещаться вдоль своего направления, то уравнения (183) недостаточно для равновесия тела, необходимо еще, чтобы

$$Z = \sum_1^n Z_i = 0, \qquad (184)$$

т. к. в этом случае не может возникнуть сила реакции вдоль направления оси, которая

уничтожила бы действие силы Z. Если тело имеет только одну закрепленную точку O, то, приведя систему сил к этой точке, нетрудно видеть, что сила F уничтожается реакцией неподвижной точки, так что остается пара момента M. Следовательно для того, чтобы тело в рассматриваемом случае находилось в равновесии, необходимо и достаточно, чтобы $M = 0$, т. е., как видно из (179''), чтобы имели место следующие 3 ур-ия:

$$\left.\begin{aligned}\sum_1^n (y_i Z_i - z_i Y_i) &= 0\\ \sum_1^n (z_i X_i - x_i Z_i) &= 0\\ \sum_1^n (x_i Y_i - y_i X_i) &= 0\end{aligned}\right\} \quad (185)$$

Т. о. при наличии тела, имеющего неподвижную ось вращения, необходимо и достаточно для равновесия одно условие (183); если эта ось может перемещаться вдоль собственного направления, требуются два условия—(183) и (184); если же тело имеет лишь одну неподвижную точку, требуется уже для равновесия тела три условия (185).

Отсюда следует, что чем тело свободнее, тем больше условий, налагаемых на силы при равновесии тела. *Тело, имеющее неподвижную ось*, обладает одной степенью свободы, так как положение тела определяется одним параметром—углом поворота тела около оси; в соответствии с этим имеется только одно условие равновесия. Если эта ось может перемещаться вдоль своего направления, то тело обладает уже двумя степенями свободы, и в связи с этим имеются два условия равновесия тела. Если тело наконец имеет одну неподвижную точку, то, так как положение тела определяется тремя параметрами (см. *Координаты*), имеются 3 условия равновесия и т. д.

Допустим, что имеется n материальных точек $A_1, A_2, \ldots, A_n$, координаты которых соответственно x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; $\ldots$; x_n, y_n, z_n и к к-рым приложены силы $F_1, F_2, \ldots, F_n$. Допустим далее, что эти точки находятся под воздействием нек-рых связей, что аналитически выражается в том, что $3n$ координат точек связаны между собою некоторым числом уравнений:

$$\left.\begin{aligned} f_1(x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; \ldots; x_n, y_n, z_n) &= 0\\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\ f_p(x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; \ldots; x_n, y_n, z_n) &= 0\end{aligned}\right\}, \quad (186)$$

число к-рых пусть будет p. Из общего числа $3n$ координат $3n-p$ м. б. взяты совершенно произвольно, а остальные p координат м. б. выражены через произвольно взятые при помощи ур-ий (186). Поэтому число $3n-p$ и определяет **степень свободы** рассматриваемой системы точек. Очевидно, что p не м. б. больше $3n$. Если $p=3n$, то координаты всех точек системы вполне определяются из (186), т. е. система неподвижна; если же $p=0$, то все точки системы свободны.

Пусть равнодействующая всех реакций связей, действующих на какую-либо точку A_i системы, равна R_i $(i=1, 2, \ldots, n)$, так что эта точка находится под действием силы, равной F_i+R_i. Следовательно для того чтобы вся система находилась в равновесии, необходимо, чтобы

$$F_i + R_i = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \quad (187)$$

что равносильно наличию $3n$ ур-ий

$$X_i + X_i' = 0;\ Y_i + Y_i' = 0;\ Z_i + Z' = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \quad (187')$$

где X_i, Y_i, Z_i—модули компонент R_i по осям координат. Выше было показано, что в случае одной несвободной точки сила R будет нормальна к кривой или к поверхности, осуществляющей связь, и что следовательно полная работа T' силы R равна по (158') нулю:

$$dT' = R \cdot dr = 0;\ T' = \int R \cdot dr = 0.$$

Несмотря однако на то, что при наличии системы несвободных точек реакции связей м. б. совершенно другие, чем реакции кривых линий или поверхностей, условие (158') имеет место и в данном случае, так что $R_i \cdot dr_i = 0$, и следовательно

$$\sum_1^n R_i \cdot dr_i = 0. \quad (188)$$

Последнее ур-ие, являющееся основным уравнением движения системы несвободных точек, м. б. интерпретировано след. обр.: реакции связей, действующих на систему материальных точек, не могут в своей совокупности ни поглощать ни давать работу, хотя для отдельных сил реакций это является возможным. Это предложение стоит в связи с принципом сохранения энергии, ибо, поскольку осуществление связей не влечет за собой ни затраты энергии ни получения таковой, постольку реакции связей не могут ни поглощать ни давать никакой работы. Исходя из (158), (158') и (188), можно в отношении системы точек притти к точно таким же выводам, что и в отношении одной материальной точки, а именно: точки рассматриваемой несвободной системы, находящиеся сначала в покое, начинают каждая свое движение по направлению соответствующей равнодействующей сил F_i и R_i, так что в начальный элемент времени имеем:

$$\sum_1^n (F_i + R_i) \cdot dr > 0, \quad (189)$$

или, принимая во внимание (188):

$$\sum_1^n F_i\, dr_i > 0. \quad (190)$$

Т. о. в начале движения сумма элементарных работ всех движущихся сил F_i положительна. Если же в числе всех возможных перемещений, допускаемых данными связями, нет ни одного, для которого неравенство (190) имело бы место, то очевидно, что система в движение притти не может; другими словами, необходимым условием для равновесия системы несвободных точек является неравенство:

$$\sum_1^n (F_i \cdot \delta r_i) \leqslant 0, \quad (191)$$

где символом δr_i обозначены **возможные, или виртуальные**, т. е. допус-

каемые связями, элементарные перемещения точек, в отличие от действительных элементарных перемещений точек, обозначаемых $d\boldsymbol{r}_i$. Неравенство (191) выражает т. н. принцип (начало) возможных перемещений, или принцип возможных, или виртуальных, работ (Бернулли, 1717). Пользуясь ф-лой векторного исчисления, неравенство (191) можно представить еще и в следующем виде:

$$\sum_1^n (X_i\,\delta x_i + Y_i\,\delta y_i + Z_i\,\delta z_i) \leqslant 0, \qquad (191')$$

где δx_i, δy_i, δz_i,—модули компонент по осям координат вектора $\delta \boldsymbol{r}_i$. Если уравнения связей не содержат неравенств, а даны например равенствами вида (186), то всякой системе возможных перемещений $\delta \boldsymbol{r}_i$ соответствует система возможных же, но противоположных перемещений $-\delta \boldsymbol{r}_i$, так что, если система точек находится в положении, при котором $\sum_1^n \boldsymbol{F}_i \cdot \delta \boldsymbol{r}_i < 0$, то будет иметься система перемещений, для которых $\sum_1^n \boldsymbol{F}_i \cdot \delta \boldsymbol{r}_i > 0$. В этом случае равновесие будет иметь место, если при всех возможных перемещениях существует равенство:

$$\sum_1^n \boldsymbol{F}_i \cdot \delta \boldsymbol{r}_i = \sum_1^n (X_i\,\delta x_i + Y_i\,\delta y_i + Z_i\,\delta z_i) = 0. \qquad (192)$$

Значение принципа возможных перемещений заключается в том, что при его применении нет надобности знать для определения условий равновесия несвободной системы точек ни характера механизмов, осуществляющих данные связи, ни величины реакций их; для этого достаточно знать лишь все возможные элементарные перемещения точек системы при данных связях.

Допустим в частности, что все возможные перемещения, или вариации перемещений, $\delta \boldsymbol{r}_i$ совершенно произвольны, т. е. что точки системы свободны. Тогда, положив все вариации координат δx_1, δy_1, δz_1, δx_2, ... равными нулю за исключением δz_n, получим из (192):

$$Z_n \delta z_n = 0 \text{ или } Z_n = 0.$$

Точно так же получим:

$$X_1 = 0;\ Y_1 = 0;\ Z_1 = 0;\ X_2 = 0 \text{ и т. д.},$$

так что вместо равенства (192), выражающего условия равновесия, получим равенства:

$$\boldsymbol{F}_1 = 0;\ \boldsymbol{F}_2 = 0;\ \ldots;\ \boldsymbol{F}_n = 0,$$

что конечно совпадает и со сделанными ранее выводами. В противоположном крайнем случае, т. е. когда все точки систем не могут менять своего положения, так что: $\delta \boldsymbol{r}_i = 0$, $(i = 1,2,3,\ldots,n)$, равенство (192) тождественно удовлетворяется при всевозможных силах $\boldsymbol{F}_i$, т. е. система будет в равновесии, каковы бы ни были силы $\boldsymbol{F}_i$, что конечно очевидно.

В общем же случае при наличии p ур-ий связей (186) для системы точек, имеющей $3n-p$ степеней свободы, можно притти от ур-ия равновесия (192) к ур-иям равновесия, связывающим компоненты сил $\boldsymbol{F}_i$ с координатами точек, след. обр. Из общего числа $3n$ вариаций δx_i, δy_i, δz_i $(i = 1, 2, \ldots, n)$ выберем произвольно $3n - p$ вариаций, придав им произвольные значения; остальные же p вариаций выразим через первые при помощи ур-ий (186), для чего нужно будет совместно решить относительно желаемых вариаций систему p однородных линейных ур-ий, полученных из (186):

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\delta x_1 + \frac{\partial f_1}{\partial y_1}\delta y_1 + \ldots + \frac{\partial f_1}{\partial z_n}\delta z_n = 0 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\frac{\partial f_p}{\partial x_1}\delta x_1 + \frac{\partial f_p}{\partial y_1}\delta y_1 + \ldots + \frac{\partial f_p}{\partial z_n}\delta z_n = 0 \end{aligned}\right\} \cdot \qquad (193)$$

Подставив затем найденные p вариаций, выраженные через $3n-p$ произвольных вариаций в равенство (192), получим сумму элементарных виртуальных работ сил $\boldsymbol{F}_i$ как однородную, линейную функцию от $3n-p$ произвольных вариаций. В виду же произвольности этих вариаций придем способом, аналогичным вышеприведенному, к выводу, что коэф-ты при произвольных вариациях равны нулю. Таким образом получим $3n-p$ ур-ий равновесия, связывающих координаты точек системы с компонентами сил $\boldsymbol{F}_i$, т. е. получим число условий равновесия, равное степени свободы системы, что и обобщает сделанный нами вывод, касавшийся условий равновесия твердого несвободного тела.

Выполнение всех указанных выше действий на практике однако весьма утомительно, вследствие чего применяется еще и следующий метод. Умножив ур-ия (193) соответственно на p множителей λ_1, λ_2, λ_3, ..., λ_p, величины которых определяются впоследствии, и сложив эти результаты с ур-ием (192), получаем:

$$\sum_{i=1}^{i=n}\left(X_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial x_i}\right)\delta x_i + \sum_{i=1}^{i=n}\left(Y_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial y_i}\right)\delta y_i + \sum_{i=1}^{i=n}\left(Z_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial z_i}\right)\delta z_i = 0. \qquad (194)$$

Последнее равенство справедливо при всевозможных значениях λ и для всех возможных перемещений системы. Выберем множители так, чтобы коэф-ты при p первых вариациях, начиная от δx_1, аннулировались. Тогда в левой части ур-ия (194) останутся только $3n-p$ вариаций, и притом совершенно произвольных, вследствие чего коэф-ты при них аннулируются. В конечном итоге следовательно все сводится к тому, что коэф-ты при $3n$ вариациях в ур-ии (194) равняются нулю, т. е. что

$$\left.\begin{aligned} &X_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial x_i} = 0 \\ &Y_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial y_i} = 0 \\ &Z_i + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial z_i} = 0 \end{aligned}\right\} \cdot \qquad (195)$$

Если исключить из последней системы множители λ, то получатся опять $3n-p$ ур-ий равновесия. Указанный метод нахождения

условий равновесия носит название метода неопределенных множителей (Лагранж). Сравнивая ур-ия (195) и (187′), можно сразу же получить компоненты сил реакции:

$$\left.\begin{aligned} X_i' &= \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \lambda_2 \frac{\partial f_2}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_p \frac{\partial f_p}{\partial x_i} \\ Y_i' &= \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \lambda_2 \frac{\partial f_2}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_p \frac{\partial f_p}{\partial y_i} \\ Z_i' &= \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \lambda_2 \frac{\partial f_2}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_p \frac{\partial f_p}{\partial z_i} \end{aligned}\right\} (i=1,2,\ldots,n). \quad (196)$$

До сих пор мы разделяли силы, действующие на систему, на две категории: на силы движущие $\boldsymbol{F}_i$ и силы реакции связей $\boldsymbol{R}_i$. Можно однако действующие на систему точек силы разделить на другие две категории, а именно: на силы внешние и силы внутренние. Внешними по отношению к данной системе называют силы, к-рые исходят из точек, не входящих в данную систему; внутренними же силами называются силы, источниками которых являются материальные точки, сами входящие в состав данной системы. Так, если рассматривать систему, состоящую из земли и луны, то силы притяжения солнца будут силами внешними, а силы взаимного притяжения земли и луны — силами внутренними. Если же в состав системы включить также и солнце, то все перечисленные силы будут силами внутренними. Группировка сил на движущие силы и силы реакций не совпадает с группировкою на внутренние и внешние силы, т. к. бывают движущие силы внутренние и внешние, точно так же, как и силы реакции связей бывают внешними и внутренними. Характерной особенностью сил внутренних является то, что они, на основании принципа равенства действия и противодействия, попарно равны и противоположны. Т. к. вследствие этого все внутренние силы во всяком случае взаимно уравновешиваются, то при равновесии системы и все внешние силы должны между собою взаимно уравновешиваться. Последнее предложение находит многочисленные применения при определении законов равновесия нетвердых систем, как напр. жидкостей, газов и т. п.

Динамика системы точек и твердого тела. Для того чтобы обобщить вышеприведенные выводы так, чтобы законы движения материальной точки и законы равновесия системы материальных точек оказались частными случаями более общих выводов, рассмотрим систему n точек, массы которых $m_1, m_2, \ldots, m_n$ находятся под воздействием следующих связей, которые могут зависеть также и от времени t:

$$\left.\begin{aligned} f_1(x_1, y_1, z_1, x_2, \ldots, z_n; t) &= 0 \\ f_2(x_1, y_1, z_1, x_2, \ldots, z_n; t) &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \\ f_p(x_1, y_1, z_1, x_2, \ldots, z_n; t) &= 0 \end{aligned}\right\}. \quad (197)$$

Пусть кроме того к точкам системы приложены соответственно силы $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$. Если прибавить к этим точкам силы инерции $-m_1\boldsymbol{a}_1, -m_2\boldsymbol{a}_2, \ldots$, то на основании принципа Д'Аламбера, выраженного формулою (153), точки системы будут находиться в равновесии, вследствие чего мож т быть в свою очередь применен принцип возможных перемещений, выраженный равенством (192). Т. о. как синтез обоих принципов получаем:

$$\sum_1^n (\boldsymbol{F}_i - m_i\boldsymbol{a}_i)\,\delta\boldsymbol{r}_i = 0, \quad (198)$$

или, что то же самое:

$$\sum\left[\left(X_i - m_i\frac{d^2x_i}{dt^2}\right)\delta x_i + \left(Y_i - m_i\frac{d^2y_i}{dt^2}\right)\delta y_i + \left(Z_i - m_i\frac{d^2z_i}{dt^2}\right)\delta z_i\right] = 0. \quad (198')$$

Вместо ур-ия (198) имеем также, пользуясь системой ур-ий (195), заменившей, как мы видели, ур-ие (192):

$$\left.\begin{aligned} X_i - m_i\frac{d^2x_i}{dt^2} + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial x_i} &= 0 \\ Y_i - m_i\frac{d^2y_i}{dt^2} + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial y_i} &= 0 \\ Z_i - m_i\frac{d^2z_i}{dt^2} + \lambda_1\frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \lambda_2\frac{\partial f_2}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_p\frac{\partial f_p}{\partial z_i} &= 0 \end{aligned}\right\} (i=1,2,\ldots,n). \quad (199)$$

Последние ур-ия носят название уравнений движения Лагранжа 1-го рода. Умножив $3n$ ур-ий (199) соответственно на δx_i, δy_i, δz_i, сложив результаты и приняв во внимание ур-ие (193), получаем снова ур-ие (198′) или (198). Исключив величины λ_j ($j=1, 2, \ldots, p$) из (199), получаем $3n-p$ линейных ур-ия между проекциями ускорений точек и компонентами движущих сил. Эти ур-ия вместе с p ур-иями связей и определяют однозначно движения точек системы. Ур-ие (198) удовлетворяется любой системой возможных элементарных перемещений $\delta\boldsymbol{r}_i$, если последние удовлетворяют системе ур-ий (193). Если же рассматривать систему элементарных перемещений $d\boldsymbol{r}_i$, которые в действительности имеют место за промежуток времени dt, то они должны удовлетворять системе ур-ий:

$$\frac{\partial f_j}{\partial x_1}dx_1 + \frac{\partial f_j}{\partial y_1}dy_1 + \frac{\partial f_j}{\partial z_1}dz_1 + \frac{\partial f_j}{\partial x_2}dx_2 + \ldots + \frac{\partial f_j}{\partial z_n}dz_n + \frac{\partial f_j}{\partial t}dt = 0 \quad (j = 1, 2, \ldots, n), \quad (200)$$

отличающейся от ур-ий (193) тем, что она содержит еще и члены $\frac{\partial f_j}{\partial t}dt$. Вследствие этого истинные элементарные перемещения $d\boldsymbol{r}_i$ не совпадают в общем с возможными элементарными перемещениями $\delta\boldsymbol{r}_i$ системы. Таким сбразом в обшем нельзя смешивать перемещения $d\boldsymbol{r}_i$ и $\delta\boldsymbol{r}_i$. Если же ур-ия связей (197) не содержат t в явной форме, то члены $\frac{\partial f_j}{\partial t}dt$ в ур-ии (200) исчезают, а вместе с тем исчезает и различие между действительными и возможными перемещениями системы. В последнем случае можно следовательно писать вместо (198) также:

$$\sum_1^n (\boldsymbol{F}_i - m_i\boldsymbol{a}_i)\,d\boldsymbol{r}_i = 0. \quad (201)$$

Т. к. на основании (125)

$$\sum_1^n m_i\boldsymbol{a}_i\,d\boldsymbol{r}_i = \sum_1^n dL_i, \quad (202)$$

то имеем из (201):

$$\sum_1^n (\boldsymbol{F}_i \cdot d\boldsymbol{r}_i) = \sum_1^n dL_i = dL, \qquad (203)$$

где $L = \sum_1^n L_i$, т. е. в этом частном случае сумма элементарных работ всех движущих сил равняется сумме диференциалов живых сил точек системы. Интегрируя (203) в пределах от t_1 до t_2, получаем, что полная работа всех движущих сил за какой-нибудь промежуток времени равняется изменению суммы кинетич. энергии всех точек системы за тот же промежуток времени. Это предложение имеет место, если ур-ия связей не содержат t в явной форме, в противном же случае сумма работ сил реакций при действительных перемещениях точек системы не равняется нулю, поэтому надлежит учесть и работу последних сил. В общем среди движущих сил $\boldsymbol{F}_i$ могут быть как потенциальные, так и непотенциальные силы. Сумма элементарных работ первых сил равняется по (133′) $-dU$, где $U = \Sigma U_j$, а U_j—силовые функции, соответствующие имеющимся потенциальным силам; сумма элементарных работ непотенциальных сил:

$$\sum_{k=1}^{\nu} \boldsymbol{F}' \cdot d\boldsymbol{r}_k = dA, \qquad (204)$$

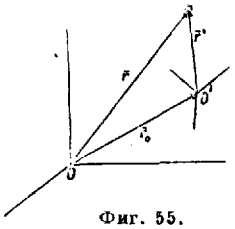
где $\boldsymbol{F}'$—непотенциальные силы, число которых ν. Тогда имеем:

$$\sum_1^n \boldsymbol{F}_i \cdot d\boldsymbol{r}_i = -dU + dA, \qquad (205)$$

или по (203):

$$dL = -dU + dA,$$
$$d(L + U) = dA. \qquad (206)$$

Так как кинетич. энергия L системы зависит от скоростей точек и так как эти скорости—понятия относительные, то и кинетич. энергия системы точек есть также величина относительная, зависящая от состояния системы отсчета. Допустим, что имеются две системы отсчета: одна с началом O, не связанным с данной системой точек, и другая с началом O', неподвижно связанным с системой точек. Пусть $\boldsymbol{r}_i$ и $\boldsymbol{r}'_i$ (фиг. 55) суть радиусы-векторы, определяющие положение точки A_i по отношению к системам O и O' соответственно, а $\boldsymbol{r}_0$—радиус-вектор, определяющий положение точки O' по отношению к системе с началом O. Тогда имеем:



Фиг. 55.

$$\boldsymbol{r}_i = \boldsymbol{r}'_i + \boldsymbol{r}_0,$$

или, что то же самое,

$$x_i = x'_i + x_0; \quad y_i = y'_i + y_0; \quad z_i = z'_i + z_0.$$

Беря производные по времени от последних равенств и обозначая производные точкою над соответствующей переменной, имеем:

$$\dot{x}_i = \dot{x}'_i + \dot{x}_0; \quad \dot{y}_i = \dot{y}'_i + \dot{y}_0; \quad \dot{z}_i = \dot{z}'_i + \dot{z}_0. \qquad (207)$$

Для кинетической энергии L системы точек, принимая во внимание (26′):

$$L = \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i v_i^2 = \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2 + \dot{z}_i^2) =$$

$$= \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i[(\dot{x}'_i + \dot{x}_0)^2 + (\dot{y}'_i + \dot{y}_0)^2 + (\dot{z}'_i + \dot{z}_0)^2] =$$

$$= \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i v_i'^2 + \tfrac{1}{2} v_0^2 \sum_1^n m_i + \sum_1^n m_i \dot{x}_0 \dot{x}'_i +$$

$$+ \sum_1^n m_i \dot{y}_0 \dot{y}'_i + \sum_1^n m_i \dot{z}_0 \dot{z}'_i, \qquad (208)$$

где

$$v' = \sqrt{\dot{x}'^2 + \dot{y}'^2 + \dot{z}'^2} \text{ и } v_0 = \sqrt{\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2 + \dot{z}_0^2}$$

суть линейные скорости точки A_i по отношению к системе O' и точки O' по отношению к системе O соответственно. Пусть далее координаты центра масс системы точек по отношению к системе отсчета с началом O' будут $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$. Тогда на основании (171):

$$\bar{x} \cdot \sum m_i = \sum m_i x'_i; \quad \bar{y} \cdot \sum m_i = \sum m_i y'_i;$$
$$\bar{z} \cdot \sum m_i = \sum m_i z'_i.$$

Если точка O' совпадает как раз с центром масс, то так как $\bar{x}=0$, $\bar{y}=0$, $\bar{z}=0$, получим:

$$\sum m_i x'_i = 0; \quad \sum m_i y'_i = 0; \quad \sum m_i z'_i = 0,$$

и следовательно

$$\sum m_i \dot{x}'_i = 0; \quad \sum m_i \dot{y}'_i = 0; \quad \sum m_i \dot{z}' = 0.$$

В этом случае следовательно три последних члена левой части равенства (208) равны нулю, так что получаем:

$$L = \tfrac{1}{2} v_0^2 \sum_1^n m_i + \tfrac{1}{2}\sum_1^n m_i v_i'^2. \qquad (208')$$

Т. о. кинетическая энергия системы точек равна сумме кинетической энергии центра масс, если в нем сосредоточить массу всей системы, и кинетической энергии системы в ее движении относительно системы отсчета, имеющей начало в центре масс.

Основной динамический закон движения, выраженный ур-ием (198), допускает еще ряд других формулировок, имеющих в конечном итоге один и тот же физич. смысл. К числу последних принадлежит так наз. принцип наименьшего действия, или принцип Гамильтона. Так как ур-ие (198) справедливо для любого момента времени, то, умножив ур-ие на dt и проинтегрировав результат в пределах от t_1 до t_2, получим:

$$\int_{t_1}^{t_2} dt \left[\sum\left(X - m\frac{d^2x}{dt^2}\right)\delta x + \sum\left(Y - m\frac{d^2y}{dt^2}\right)\delta y + \right.$$
$$\left. + \sum\left(Z - m\frac{d^2z}{dt^2}\right)\delta z\right] = 0, \qquad (209)$$

где индексы i для упрощения опущены. В последнем ур-ии следует рассматривать как функции времени не только координаты x_i, y_i, z_i, но и вариации δx_i, δy_i, δz_i, что вытекает из следующих соображений. Допустим, что все координаты точек зависят не только от t, но еще и от нек-рого параметра η. Опре-

деленному значению η соответствует тогда определенное движение точки A_i; значению же $\eta+\delta\eta$ соответствует нек-рое бесконечно близкое соседнее движение, к-рое конечно в общем не удовлетворяет уравнению данного движения. Действия d и δ, соответствующие изменениям величин по времени и по параметру, независимы друг от друга, вследствие чего можно писать:

$$\frac{d\delta x}{dt}=\delta\frac{dx}{dt}, \qquad (210)$$

причем вариации $\delta x=\frac{\partial x}{\partial\eta}\delta\eta$, будучи в любой момент произвольными, должны однако удовлетворять условиям (193). Применяя полученную ф-лу (210), имеем, интегрируя по частям:

$$\int_{t_1}^{t_2}dt\cdot\frac{d^2x}{dt^2}\delta x=\left[\frac{dx}{dt}\cdot\delta x\right]_{t_1}^{t_2}-\int_{t_1}^{t_2}dt\cdot\frac{dx}{dt}\cdot\frac{d\delta x}{dt}=$$

$$=\left[\frac{dx}{dt}\cdot\delta x\right]_{t_1}^{t_2}-\int_{t_1}^{t_2}dt\cdot\frac{dx}{dt}\cdot\delta\frac{dx}{dt}=$$

$$=\left[\frac{dx}{dt}\cdot\delta x\right]_{t_1}^{t_2}-\frac{1}{2}\delta\int_{t_1}^{t_2}dt\left(\frac{dx}{dt}\right)^2. \qquad (211)$$

Если предположить, что вариации всех координат равны нулю при $t=t_1$ и $t=t_2$, то $\left[\frac{dx}{dt}\cdot\delta x\right]_{t_1}^{t_2}=0$, и тогда имеем из (211):

$$\int_{t_1}^{t_2}dt\cdot\frac{d^2x}{dt^2}\cdot\delta x=-\frac{1}{2}\delta\int_{t}^{t_2}dt\left(\frac{dx}{dt}\right). \qquad (211')$$

С другой стороны, по (205) имеем:

$$\sum(X\,\delta x+Y\,\delta y+Z\,\delta z)=-\delta U+\delta A. \qquad (212)$$

Подставляя (211′) и (212) в (209), получаем:

$$\int_{t_1}^{t_2}dt\,(\delta H+\delta A)=0, \qquad (213)$$

где $H=L-U$. Величина H называется **кинетическим потенциалом, или лагранжевой функцией системы.** Равенство (213) и выражает принцип Гамильтона. Т. к. формулировка этого принципа не зависит от системы координат и т. к. кинетич. потенциал H и работа непотенциальных сил A встречаются во многих областях физики, то применение этого принципа встречается очень часто при исследовании вопросов не только М. т., но и электродинамики, термодинамики и т. п. Очень часто положение точек системы определяется не при помощи прямолинейных ортогональных координат, а при помощи других координат: полярных, цилиндрических и т. д. (см. *Координаты*), к-рые удобнее применять при данных условиях движения. Как и в приведенных выше случаях, число таких координат, к-рые обозначим через $q_1, q_2, \ldots$, должно равняться степени свободы системы, если они независимы друг от друга. Координаты же x_i, y_i, z_i суть тогда определенные функции от $q_1, q_2, \ldots$, а если связи зависят от времени, то и в явной форме от t:

$$\left.\begin{aligned}x_i&=x_i(q_1,q_2,\ldots;t)\\y_i&=y_i(q_1,q_2,\ldots;t)\\z_i&=z_i(q_1,q_2,\ldots;t)\end{aligned}\right\}. \qquad (214)$$

Если связи от времени не зависят, то, как видно из (214), полные производные их по t, т. е. v_{x_i}, v_{y_i}, v_{z_i} — однородные линейные функции от $\frac{dq_j}{dt}$, коэф-ты при которых могут содержать q_j. Так как, с другой стороны, вариации δx_i, δy_i, δz_i—однородные линейные функции от δq_j, а δA—линейная однородная функция от δx_i, δy_i, δz_i, то δA м. б. представлена в следующем виде:

$$\delta A=\theta_1\delta q_1+\theta_2\delta q_2+\theta_3\delta q_3+\ldots, \qquad (215)$$

причем δA может содержать элементарные возможные работы как потенциальных, так и непотенциальных внешних сил. Так как величины θ_j играют ту же роль, что и компоненты X_i, Y_i, Z_i в ф-ле (212), то они называются **обобщенными компонентами сил.**

Нетрудно усмотреть, что кинетич. потенциал H представляет собой в рассматриваемом случае ф-ию 2-й степени от производных $\dot q_j$, коэф-ты к-рых суть ф-ии от q, а возможно и от t. Т. к. при варьировании координат q_j время t не меняется, то

$$\delta H=\frac{\partial H}{\partial\dot q_1}\delta\dot q_1+\frac{\partial H}{\partial\dot q_2}\delta\dot q_2+\ldots+$$
$$+\frac{\partial H}{\partial q_1}\delta q_1+\frac{\partial H}{\partial q_2}\delta q_2+\ldots \qquad (216)$$

Из (216) имеем, принимая во внимание, что

$$\delta\dot q=\delta\frac{dq}{dt}=d\frac{\delta q}{dt},$$

$$\int_{t_1}^{t_2}\frac{\partial H}{\partial\dot q_j}\delta\dot q_j\,dt=\int_{t_1}^{t_2}\frac{\partial H}{\partial\dot q_j}\cdot\frac{d\delta q}{dt}\,dt=$$

$$=-\int_{t_1}^{t_2}\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial H}{\partial\dot q_j}\right)\delta q_j\,dt \quad (j=1,2,\ldots), \qquad (217)$$

так как при $t=t_1$ и $t=t_2$ все вариации δq_j равны нулю. Подставив значения (216) в (213), получим, принимая во внимание (217), а также и то, что δq_j независимы друг от друга:

$$\left.\begin{aligned}\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial H}{\partial\dot q_1}\right)-\frac{\partial H}{\partial q_1}&=\theta_1\\\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial H}{\partial\dot q_2}\right)-\frac{\partial H}{\partial q_2}&=\theta_2\\\cdots\cdots\cdots&\end{aligned}\right\}. \qquad (218)$$

Последние ур-ия называются **уравнениями движения Лагранжа 2-го рода.** В качестве примера рассмотрим движение свободной материальной точки, положение к-рой определяется цилиндрич. координатами r, φ, z. Из (215) имеем:

$$\delta A=\theta_1\delta r+\theta_2\delta\varphi+\theta_3\delta z. \qquad (219)$$

При отсутствии потенциальной энергии

$$H=L=\frac{mv^2}{2}.$$

Так как

$$x=r\cos\varphi \text{ и } y=r\sin\varphi,$$

то

$$v^2=\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2+\left(\frac{dz}{dt}\right)^2=$$

$$=(\dot r\cos\varphi-r\sin\varphi\cdot\dot\varphi)^2+(\dot r\sin\varphi+r\cos\varphi\cdot\dot\varphi)^2+$$
$$+\dot z^2=\dot r^2+r^2\dot\varphi^2+\dot z^2,$$

следовательно

$$H = \frac{m}{2}(\dot r^2 + r^2\dot\varphi^2 + \dot z^2).$$

Отсюда получаем, сообразно (218):

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial H}{\partial \dot r} = m\dot r \qquad \frac{\partial H}{\partial r} = mr\dot\varphi^2\\
&\frac{\partial H}{\partial \dot\varphi} = mr^2\dot\varphi \qquad \frac{\partial H}{\partial \varphi} = 0\\
&\frac{\partial H}{\partial \dot z} = m\dot z \qquad \frac{\partial H}{\partial z} = 0\\
&\theta_1 = \frac{d}{dt}(m\dot r) - mr\dot\varphi^2\\
&\theta_2 = \frac{d}{dt}(mr^2\dot\varphi)\\
&\theta_3 = \frac{d}{dt}(m\dot z)
\end{aligned}\right\}. \qquad (220)$$

Выше мы разделяли все силы, действующие на систему материальных точек, находящуюся в покое, на силы внутренние и силы внешние. Аналогичное подразделение можно сделать и в отношении сил, действующих на движущуюся систему, причем отмеченное выше основное свойство внутренних сил сохраняется и в данном случае. Обозначая внешние силы через $\boldsymbol{\Phi}_i$, имеем, применяя к движущейся системе принцип Д'Аламбера, на основании ур-ий (179):

$$\sum_1^n(\boldsymbol{\Phi}_i - m_i\boldsymbol{a}_i) = 0, \qquad (220')$$

$$\sum_1^n[\boldsymbol{r}_i\cdot(\boldsymbol{\Phi}_i - m_i\boldsymbol{a}_i)] = 0, \qquad (220'')$$

т. е. во время движения системы точек силы внешние и силы инерции в любой момент времени взаимно уравновешиваются. Ур-ия (220′ и 220″) применимы как к твердым, так равн) и к нетвердым системам точек, как то: к газу, жидкости и т. п. и в частности к твердым телам. Т. к. из (171′) следует, что

$$\frac{d^2\boldsymbol{r}_0}{dt^2}m = \sum_1^n m_i\frac{d^2\boldsymbol{r}_i}{dt^2} = \sum_1^n m_i\boldsymbol{a}_i, \qquad (221)$$

где $m = \sum_1^n m_i$ — масса всей системы точек, то, вставляя (221) в (220′), получаем:

$$m\frac{d^2\boldsymbol{r}_0}{dt^2} = \sum_1^n\boldsymbol{\Phi}_i, \qquad (222)$$

т. е. что ц. т. системы материальных точек движется так, как будто масса всех точек системы собрана в нем и как будто все внешние силы, действующие на систему, приложены непосредственно к этой точке. Отсюда видно, что на движение центра тяжести системы внутренние силы никакого влияния не оказывают. Из (220′) имеем также:

$$\frac{d}{dt}\sum_1^n m_i\boldsymbol{v}_i = \sum_1^n\boldsymbol{\Phi}_i, \qquad (223)$$

т. е. производная по времени от суммы количеств движения точек равняется сумме (векторной) внешних сил, действующих на систему. Если все внешние силы равны 0 или если $\sum_1^n\boldsymbol{\Phi}_i = 0$, то из (223) имеем:

$$\sum_1^n m_i\boldsymbol{v}_i = \text{Const}.$$

Т. о., если $\sum_1^n\boldsymbol{\Phi}_i = 0$, то сумма количеств движения точек системы, называющаяся также результирующим количеством движения, остается во время движения без изменения. Особенное значение имеет последнее предложение при исследовании явления удара (см. *Удар*). При $\sum\boldsymbol{\Phi}_i = 0$ имеем также из (222):

$$\frac{d^2\boldsymbol{r}_0}{dt^2} = \boldsymbol{a}_0 = 0, \qquad (224)$$

т. е. если на систему точек не действуют никакие внешние силы или если действуют силы, сумма к-рых равняется нулю, то центр тяжести системы движется прямолинейно и равномерно. Из (220″) имеем далее:

$$\sum[\boldsymbol{r}_i m_i\boldsymbol{a}_i] = \sum[\boldsymbol{r}_i\boldsymbol{\Phi}_i],$$

или, так как $[\boldsymbol{v}\,\boldsymbol{v}] = 0$,

$$\frac{d}{dt}\sum[\boldsymbol{r}_i m_i\boldsymbol{v}_i] = \sum[\boldsymbol{r}_i\boldsymbol{\Phi}_i], \qquad (225)$$

т. е. производная по времени от суммы моментов количеств движения точек системы по отношению к какой-либо точке равняется сумме моментов всех внешних сил по отношению к той же точке. Сумма моментов количеств движения точек называется также главным моментом количества движения системы. Если в частности имеется свободное твердое тело, причем внешние силы $\boldsymbol{\Phi}_i$ даны, то уравнения (220′) и (220″) вполне определяют движение тела, т. к. число этих ур-ий, равное 6, соответствует 6 степеням свободы тела. Допустим однако, что тело, к к-рому приложены данные силы, не свободно, а имеет одну неподвижную ось вращения, к-рую мы примем за ось Oz. Взяв на этой прямой произвольную точку O', приведем к ней всю систему сил $\boldsymbol{\Phi}_i$, так что получится одна равнодействующая сила $\boldsymbol{\Phi}$ и пара момента $\boldsymbol{M}$. Аналогичным образом можно к той же точке привести и неизвестные силы реакции оси, получив силу $\boldsymbol{\Phi}'$ и момент $\boldsymbol{M}'$. Из всех шести ур-ий (220′) и (220″) только последнее не будет содержать компонент неизвестных сил реакции, а именно:

$$\sum m_i\left(x_i\frac{d^2y_i}{dt^2} - y_i\frac{d^2x_i}{dt^2}\right) = M_z, \qquad (226)$$

а следовательно только оно и определяет движение тела, в соответствии с одной степенью свободы его. Параметром, определяющим положение тела, служит угол поворота φ, который образует плоскость в теле, проходящую через Oz, с плоскостью, неподвижной в пространстве и проходящей через ту же ось Oz. Обозначая расстояние точки (x_i, y_i, z_i) до оси Oz через ϱ_i, имеем:

$$x_i = \varrho_i\cos\varphi; \quad y_i = \varrho_i\sin\varphi; \qquad (227)$$

$$\frac{dx_i}{dt} = -\varrho_i\sin\varphi\cdot\dot\varphi; \quad \frac{dy_i}{dt} = \varrho_i\cos\varphi\cdot\dot\varphi; \qquad (228)$$

$$\frac{d^2x_i}{dt^2} = -\varrho_i\cos\varphi\cdot\dot\varphi^2 - \varrho_i\sin\varphi\cdot\ddot\varphi;$$

$$\frac{d^2y_i}{dt^2} = -\varrho_i\sin\varphi\cdot\dot\varphi^2 + \varrho_i\cos\varphi\cdot\ddot\varphi. \qquad (229)$$

Вставляя равенства (227) и (228) в (226) и принимая во внимание, что угловое ускорение $\ddot\varphi$ постоянно для всех точек тела, получаем:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2}\int_{(V)}\varrho^2\,dm = M_z, \qquad (230)$$

где знак $\sum$ заменен знаком $\int$ в виду того, что суммирование произведено по всем точкам объема тела, dm представляет массу элемента объема, находящегося на расстоянии ϱ от оси Oz.

Величина

$$I_z = \int_{(V)} \varrho^2\, dm \qquad (231)$$

называется моментом инерции тела относительно оси Oz (см. *Момент инерции*). Т. о., обозначив угловое ускорение через θ, имеем:

$$\theta \cdot I_z = M_z. \qquad (232)$$

Полученная формула (232) аналогична формуле (107) прямолинейн. движения, причем вместо массы здесь имеется момент инерции, вместо линейного ускорения—ускорение угловое, а вместо силы—вращающий момент внешних сил. Интегрирование ур-ия (232) производится точно таким же способом, как и при прямолинейном движении. Кинетич. энергия тела получается в рассматриваемом случае из следующего общего выражения:

$$L = \frac{1}{2}\int_{(V)} dm v^2 = \frac{1}{2}\int_{(V)} dm\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2+\left(\frac{dz}{dt}\right)^2\right], \qquad (233)$$

из которого, воспользовавшись формулами (228) и обозначив угловую скорость через ω, имеем:

$$L = \frac{1}{2} I \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2} I\omega^2. \qquad (234)$$

Если в какой-нибудь момент t_1 кинетич. энергия тела равна $L_1 = \frac{1}{2} I_1\omega_1^2$, а в момент t_2 равна $L_2 = \frac{1}{2} I_2\omega_2^2$, то на основании закона живой силы, выраженного ур-ием (125′), имеем:

$$T = \frac{1}{2} I_2\omega_2^2 - \frac{1}{2} I_1\omega_1^2. \qquad (235)$$

Из шести координатных ур-ий (220′ и 220″) остались еще неиспользованными пять ур-ий, определяющие реакции оси, а именно:

$$\boldsymbol{\Phi}' = \sum m_i \boldsymbol{a}_i - \boldsymbol{\Phi}, \qquad (236)$$

$$\left.\begin{aligned} M'_x &= \sum m_i\left(y_i\frac{d^2z_i}{dt^2} - z_i\frac{d^2y_i}{dt^2}\right) - M_x \\ M'_y &= \sum m_i\left(z_i\frac{d^2x_i}{dt^2} - x_i\frac{d^2z_i}{dt^2}\right) - M_y \end{aligned}\right\}, \qquad (237)$$

которые и определяют $\boldsymbol{M}' = \boldsymbol{M}'_x + \boldsymbol{M}'_y$ и $\boldsymbol{\Phi}'$. Если в частности все силы $\boldsymbol{\Phi}$ равны нулю, то из (232) имеем:

$$\theta = 0 \text{ и } \frac{d\varphi}{dt} = \omega = \text{Const}. \qquad (238)$$

В этом случае реакции оси определяются ур-иями:

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{\Phi}' &= \sum m_i \boldsymbol{a}_i \\ M'_x &= \sum m_i\left(y_i\frac{d^2z_i}{dt^2} - z_i\frac{d^2y_i}{dt^2}\right) \\ M'_y &= \sum m_i\left(z_i\frac{d^2x_i}{dt^2} - x_i\frac{d^2z_i}{dt^2}\right) \end{aligned}\right\}. \qquad (239)$$

Вставляя в $\Phi'_x = \sum m_i\frac{d^2x_i}{dt^2}$, и $\Phi'_y = \sum m_i\frac{d^2y_i}{dt^2}$ значения $\frac{d^2x_i}{dt^2}$ и $\frac{d^2y_i}{dt^2}$ из (229), получим:

$$\left.\begin{aligned} \Phi'_x &= -\dot\varphi^2\sum m_i x_i \\ \Phi_y &= -\dot\varphi^2\sum m_i y_i \end{aligned}\right\} \qquad (240)$$

или на основании (171):

$$\left.\begin{aligned} \Phi'_x &= -\dot\varphi^2 x_0\sum m_i = -\omega^2 x_0\sum m_i \\ \Phi_y &= -\dot\varphi^2 y_0\sum m_i = -\omega^2 y_0\sum m_i \end{aligned}\right\}. \qquad (241)$$

Т. к. проекции центробежной силы инерции точки, масса которой m, по осям координат суть $\omega^2 x \cdot m$ и $\omega^2 y \cdot m$, то согласно (241) результирующая реакция связи Φ', противоположна центробежной силе инерции центра тяжести, в котором сосредоточена вся масса тела и который вращается с угловой скоростью ω. Если ось вращения проходит через центр тяжести тела, то, как это видно из (241), $\Phi' = 0$, т. е. в этом случае результирующая сила реакции оси равна нулю, но вращающие моменты M'_x и M'_y в общем случае не равны нулю:

$$\left.\begin{aligned} M'_x &= -\sum m_i z_i\frac{d^2y_i}{dt^2} \\ M_y &= +\sum m_i z_i\frac{d^2x_i}{dt^2} \end{aligned}\right\}. \qquad (242)$$

Т. к. далее $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0$, то из (229) имеем:

$$\left.\begin{aligned} \frac{d^2x_i}{dt^2} &= -x_i\dot\varphi^2 \\ \frac{d^2y_i}{dt^2} &= -y_i\dot\varphi^2 \end{aligned}\right\}. \qquad (243)$$

Вставляя значения (243) в (242), имеем:

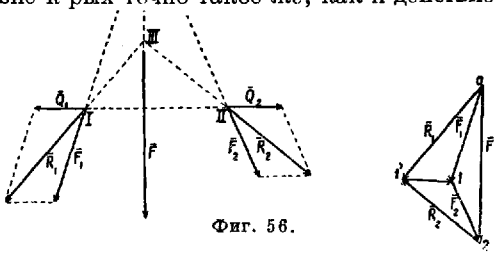
$$\left.\begin{aligned} M'_x &= \sum m_i z_i y_i\dot\varphi^2 = \dot\varphi^2\sum m_i z_i y_i = I_{yz}\dot\varphi^2 \\ M'_y &= -\sum m_i z_i x_i\dot\varphi^2 = -\dot\varphi^2\sum m_i x_i z_i = -I_{xz}\dot\varphi^2 \end{aligned}\right\} \qquad (244)$$

где I_{yz} и I_{xz}—т. наз. центробежные моменты инерции. Т. о. даже в рассматриваемом частном случае для того, чтобы осуществить неподвижную ось вращения тела, нужно будет приложить два вращающих момента $-M_x$ и $+M_y$; если же ось сделать свободной, то, несмотря на отсутствие движущих сил, ось вращения все же неподвижной не останется, а будет перемещаться определенным образом в пространстве. Лишь если центробежные моменты инерции тела I_{xz} и I_{yz} будут к тому же равны нулю, ось останется неподвижной в пространстве и без всякой поддержки. Такая ось вращения тела называется свободной, или перманентной.

Графостатика. Помимо вышеприведенных методов определения условий равновесия системы сил при помощи составления и решения определенного числа ур-ий, т. е. помимо методов аналитических, широко применяются, в особенности при решении практических задач статики, методы графические, составляющие предмет изучения графической статики, или графостатики. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и свои недостатки. Аналитич. метод дает в общем более точные результаты, достигаемые однако путем сложных и утомительных вычислений, связанных с составлением и решением ур-ий, выражающих условия равновесия. Графический метод, наоборот, давая более быстрые результаты и отличаясь легкостью усвоения и запоминания, дает однако менее точные результаты. Во всех тех случаях, когда особой точности результатов не требуется либо когда в сложных случаях приходится делать допущения, понижающие точность аналитич. методов, графич. мето-

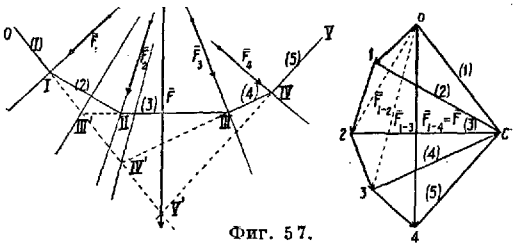
ды обладают несомненными преимуществами перед аналитическими. В последнее время графич. методы находят применение также в области динамики, составляя предмет изучения графической динамики. Однако во многих случаях применение одних лишь графических методов не является достаточным для решения поставленных задач статики, так что приходится применять смешанные графо-аналитические методы. В особенности это имеет место при определении неизвестных усилий в так наз. статически неопределимых системах (см. *Фермы*), когда помимо общих ур-ий статики необходимо принимать во внимание еще и упругие изменения системы. Развитие графостатики связано с развитием т. наз. проективной геометрии. Основными методами для графостатики являются построения силового многоугольника и т. наз. *веревочного многоугольника* (см.).

Если имеются две силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$, приложенные к двум различным точкам *I* и *II* (фиг. 56) и лежащие в одной и той же плоскости, линии действия к-рых пересекаются в некоторой точке *III'*, находящейся вне пределов чертежа, то прямое применение приведенного метода полного решения не дает. В самом деле: построив от какой-нибудь произвольной точки *0* силовой мн-к *012*, так что $\overrightarrow{01} = \boldsymbol{F}_1$ и $\overrightarrow{12} = \boldsymbol{F}_2$, получим равнодействующую $\boldsymbol{F} = \overrightarrow{02}$ лишь по величине и направлению; линия же действия $\boldsymbol{F}$ остается неизвестной. Для определения положения последней приложим к точкам *I* и *II* две равные и прямо противоположные силы $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$, так что $\boldsymbol{Q}_1 = -\boldsymbol{Q}_2$. Складывая по правилу параллелограмма попарно силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{Q}_1$, $\boldsymbol{F}_2$ и $\boldsymbol{Q}_2$, получим силы $\boldsymbol{R}_1$ и $\boldsymbol{R}_2$, одновременное действие к-рых точно такое же, как и действие



Фиг. 56.

сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$. Если силы $\boldsymbol{Q}_1$ и $\boldsymbol{Q}_2$ достаточно велики, то, продолжив линии действия $\boldsymbol{R}_1$ и $\boldsymbol{R}_2$, можно получить точку пересечения *III*, находящуюся в пределах чертежа и через которую очевидно проходит искомая линия действия $\boldsymbol{F}$ параллельно найденному направлению *02*. От той же точки *0* можно построить другой силовой мн-к *01'2* соответственно силам $\boldsymbol{R}_1$ и $\boldsymbol{R}_2$, так что $\overrightarrow{01'} = \boldsymbol{R}_1$ и $\overrightarrow{1'2} = \boldsymbol{R}_2$, причем очевидно, что $\overrightarrow{11'} = \boldsymbol{Q}_1$ и $\overrightarrow{1'1} = \boldsymbol{Q}_2$. Отрезки *02* и *11'* представляют собой диагонали четырехугольника *0121'0*, точно так же, как отрезки *III' III* и *I II* суть диагонали четырехугольника *I III II III'I*. Нетрудно также заметить, что между этими четырехугольниками существует взаимно обратное соответствие, к-рое состоит в том, что каждой стороне или диагонали одного четырехугольника соответствует параллельная ей сторона или диагональ другого четырехугольника, а каждой точке, в которой сходятся три направления одного четырехугольника, соответствует тр-к с параллельными этим направлениям сторонами в другом четырехугольнике. Так например точке *II* соответствует тр-к *121'*, а точке *1* соответствует тр-к *II I III'*. Во взаимно обратном соответствии этих фигур и проявляется тесная связь, существующая между построениями графостатики и проективной геометрии. Таким образом, чтобы полностью получить равнодействующую $\boldsymbol{F}$, достаточно поступить след. образом: построив силовой мн-к *012*, возьмем произвольную точку *C*,



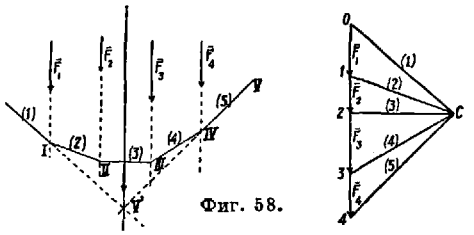
Фиг. 57.

называемую полюсом, и соединим ее со всеми вершинами силового мн-ка прямыми, или лучами, *C0*, *C1*, *C2*. Проведя далее прямые: *01* ∥ *C0* до пересечения в точке *I* с линией действия $\boldsymbol{F}_1$; *I III* ∥ *C1* до пересечения в точке *II* с линией действия $\boldsymbol{F}_2$ и *II III* ∥ *C2*, получим мн-к *0 I II III*, крайние стороны которого пересекаются в точке *III*, через к-рую проходит линия действия силы $\boldsymbol{F} = \overrightarrow{02}$. Мн-к *01 II III* называется нитяным, или веревочным.

Приведенное построение можно распространить и на более общий случай. Допустим, имеется плоская система n сходящихся или не сходящихся сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \ldots, \boldsymbol{F}_n$. Пусть например $n = 4$ (фиг. 57). Для сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ найдем вышеприведенным способом все элементы, определяющие их равнодействующую $\boldsymbol{F}_{12}$, т. е. величину, направление и линию действия последней; взяв затем $\boldsymbol{F}_{12}$ и $\boldsymbol{F}_3$, аналогичным образом найдем все элементы их равнодействующей $\boldsymbol{F}_{13}$ и т. д. Все построение очевидно сведется к следующему. Построив силовой мн-к *01234* и взяв произвольный полюс *C*, соединим его лучами *C0*, *C1*, ... со всеми вершинами силового мн-ка. Затем из произвольной точки *0* проведем: прямую *01* параллельно 1-му лучу *C0* до пересечения в точке *1* с линией действия силы $\boldsymbol{F}_1$, прямую *1 II* параллельно 2-му лучу до пересечения в точке *II* с линией действия силы $\boldsymbol{F}_2$ и т. д. Полученный так. обр. нитяной мн-к вместе с построенным силовым мн-ком дает возможность определить равнодействующие как всех данных сил, так и определенной группы их. Так, для получения линии действия равнодействующей $\boldsymbol{F}_{12}$ сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ достаточно продолжить крайние стороны нитяного мн-ка, соответствующие этой части фигуры, т. е. стороны (*1*) и (*3*) до их взаимного пересечения в точке *III'*, и провести через *III'* прямую, параллельную *02*. Ве-

личина же и направление определяются вектором $\overrightarrow{02}$. Точно так же для получения линии действия равнодействующей F_{13} сил F_1, F_2 и F_3 достаточно продолжить стороны нитяного мн-ка (*1*) и (*4*) до их взаимного пересечения в точке *IV'* и через эту точку провести прямую, параллельную *03*; величина же и направление F_{13} определяются вектором $\overrightarrow{03}$ и т. д. Нетрудно видеть, что $F_1+F_2+F_3+F_4=\overrightarrow{0C}+\overrightarrow{C4}$; отсюда явствует, что всякая плоская система сил м. б. заменена двумя силами, которые действуют по направлениям крайних сторон построенного нитяного многоугольника и равными по величине крайним лучам соответствующей полярной фигуры.

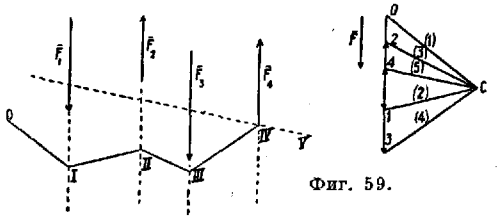
Точно такое же построение можно применить и к плоской системе параллельных



Фиг. 58.

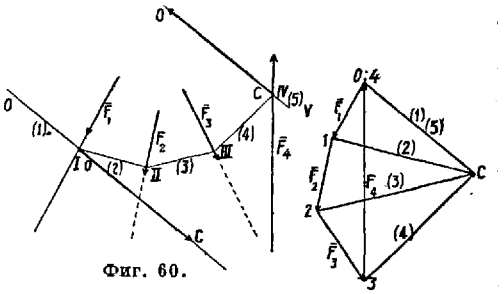
сил (фиг. 58 и 59). В этом случае, как это нетрудно усмотреть, все стороны силового мн-ка лежат на одной общей прямой, так что величина равнодействующей равняется алгебраич. сумме сил составляющих.

Как мы видели выше, для того чтобы данная плоская система сил взаимно уравновешивалась, необходимо, чтобы силовой мн-к был замкнутым, т. е. чтобы начало *0* силового мн-ка совпало с его концом *n* (фиг. 60 и 61). Т. к. вследствие этого крайние лучи полярной фигуры совпадают как по величине, так и по направлению, то очевидно, что крайние стороны нитяного мно-



Фиг. 59.

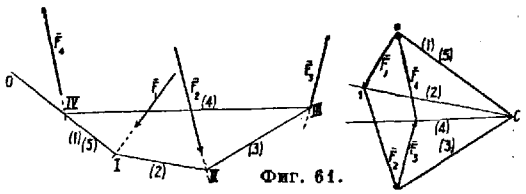
гоугольника будут либо параллельны либо совпадать. Т. к. далее данную систему сил можно заменить двумя силами, равными крайним лучам полярной фигуры, а также в виду того что эти лучи между собою равны,—в первом случае очевидно система сил приводится к паре сил, а во втором случае—взаимно уравновешивается. Так. обр. для того чтобы данная система сил взаимно уравновешивалась, необходимо и достаточно, чтобы и силовой и веревочный мн-ки были замкнутыми. В случае, когда имеется сходящаяся система сил, замкнутость силового мн-ка является не только необходимым, но и достаточным условием для равновесия. При наличии большого количества составляющих сил нет надобности строить веревочный мн-к с полным числом сторон. Для этого достаточно предварительно сгруппировать данные силы, заменив их меньшим числом



Фиг. 60.

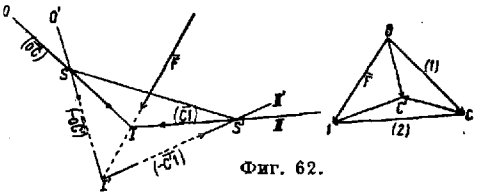
равнодействующих, и уменьшить соответственно образом число сторон как силового, так и нитяного мн-ков.

Из предыдущего ясно, что для данной системы сил линия действия равнодействующей занимает вполне определенное положение, а т. к. крайние стороны нитяного многоугольника должны пересечься в одной из точек этой прямой, то следовательно имеется бесчисленное множество точек, по к-рым это пересечение может произойти. С другой стороны, так как имеется ∞^2 возможностей выбора полюса *C* и так как каждому полюсу соответствует ∞ нитяных мн-ков, в соответствии со свободным выбором исходной точки *0*, то всего имеется ∞^3 возможностей



Фиг. 61.

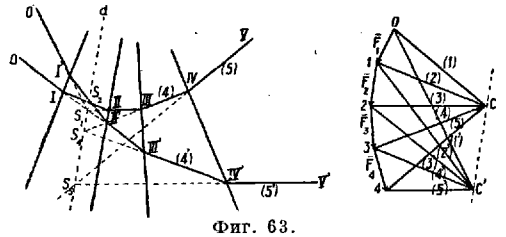
построения нитяного мн-ка, обусловливающих однако лишь ∞ точек пересечения. Отсюда следует, что между ∞^3 нитяных мн-ков данной системы сил должны существовать определенные зависимости. Эти зависимости суть следующие: соответствующие стороны двух нитяных мн-ков, построенных для одной и той же системы сил, но при помощи двух различных полюсов *C* и *C'* (фиг. 62), пересекаются на прямой, к-рая параллельна *CC'*. Для того чтобы это усмотреть, возьмем одну силу *F* и, выбрав полюс *C*, построим для нее полярную фигуру *0C1* и нитяной мн-к *0 I II*. Затем, выбрав другой полюс *C'*, построим соответствующую полярную фигуру *0C'1* и нитяной мн-к *0'1'11'*.



Фиг. 62.

По предыдущему, сила *F* м. б. заменена либо двумя силами $\overrightarrow{0C}$ и $\overrightarrow{C1}$, действующими по *0I* и *I II*, либо двумя силами $\overrightarrow{0C'}$ и $\overrightarrow{C'1}$, действующими по *0'I'* и *I'11'*. Если же при-

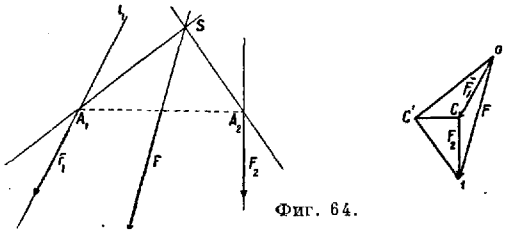
ложить по последним двум направлениям две силы, равные $-\overrightarrow{OC'}$ и $-\overrightarrow{C'1}$, то очевидно, что силы $\overrightarrow{OC}$, $\overrightarrow{C1}$, $-\overrightarrow{OC'}$, $-\overrightarrow{C'1}$ взаимно уравновесятся. Но равнодействующая сил $\overrightarrow{OC}$ и $-\overrightarrow{OC'}$ проходит через точку S пересечения направлений OI и $O'I'$, а равнодействующая сил $\overrightarrow{C1}$ и $-\overrightarrow{C'1}$ проходит через аналогичную точку S', и т. к. обе эти силы должны взаимно уничтожаться, то линии действия их совпадают с прямой SS'. С другой стороны, из рассмотрения полярной фигуры видно, что эти равнодействующие должны



Фиг. 63.

быть направлены по прямым, параллельным CC', так что $SS' \parallel CC'$.

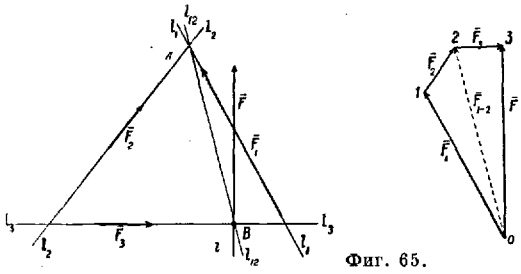
Распространяя эти выводы на общий случай, построим для данной плоской системы n сил $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_3, \ldots, \boldsymbol{F}_n$ (фиг. 63) два нитяных мн-ка $0\,I\,II\,III\ldots$ и $0'I'II'III'\ldots$ соответственно двум различным полюсам C и C'. По доказанному точка S_1 пересечения сторон OI и $O'I'$ и точка S_2 пересечения $I\,III$ и $I'\,II'$ лежат на прямой d, параллельной CC'; из таких же соображений видно, что и точка S_3 пересечения $II\,III$ и $II'\,III'$ лежит на той же прямой d и т. д., откуда и явствует справедливость вышеприведенного положения. Отсюда следует, что если закрепить точки пересечения $S_1, S_2, \ldots, S_n$ сторон нитяного мн-ка с некоторой прямой l и если поворачивать стороны OI, $I\,II$, $II\,III$, ... вокруг этих точек так. обр., чтобы вершины нитяного мн-ка перемещались по соответствующим линиям действия сил, то мы получим новые силовые мн-ки для дан-



Фиг. 64.

ной системы сил, соответствующие различным полюсам, расположенным на прямой, параллельной l. Последние выводы находят обширное применение не только в области графостатики, но и в др. областях, в теории шарнирных механизмов и т. п. Доказано, что все нитяные мн-ки для данной системы сил представляют собой ортогональные проекции на плоскость действия сил ломаных линий, полученных от сечения всевозможными плоскостями многогранника, ребра к-рого проектируются ортогонально на линии действия данных сил (Кремона, Клейн).

На основании вышеприведенных выводов можно решить графически ряд проблем, касающихся разложения данной силы на ее компоненты. Пусть требуется разложить данную силу $\boldsymbol{F}$ на две составляющие силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ так, чтобы линии действия последних проходили через две данные точки A_1 и A_2 (фиг. 64). Взяв на линии действия силы $\boldsymbol{F}$ произвольную точку S и соединив ее с A_1 и A_2, можно разложить $\boldsymbol{F}$ на две компоненты по направлениям SA_1 и SA_2, величины и направления к-рых определяются сторонами $\overrightarrow{OC'}$ и $\overrightarrow{C'1}$ соответствующей полярной фигуры. Если же кроме точек A_1 и A_2 задано также и направление одной из компонент, например направление l_1 для первой силы, то, проведя через C' прямую $C'C \parallel A_1A_2$, а через O прямую $OC \parallel l_1$, получим, на основании предыдущих выводов, новую полярную фигуру $OC1$, стороны которой $\overrightarrow{OC}$ и $\overrightarrow{C1}$ определяют искомые силы $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$. Пусть требуется разложить данную силу $\boldsymbol{F}$ (фиг. 65) на три компоненты $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_3$, лежащие в одной плоскости с $\boldsymbol{F}$ и линии действия которых l_1, l_2, l_3 даны. Обозначим линию действия $\boldsymbol{F}$ через l, а линию действия равнодействующей $\boldsymbol{F}_{12}$ первых двух сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ через l_{12}. Допус-



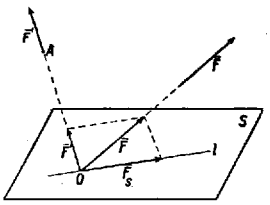
Фиг. 65.

тим, что требуемое разложение произведено. Тогда, построив полярную фигуру для найденных компонент, придем к заключению, что, в виду свойства взаимной обратности фигур, тр-ку 012 соответствует точка A, в к-рой пересекаются прямые l_1, l_2 и l_{12}, а тр-ку 023—точка B, через которую проходят прямые l_{12}, l и l_3. Отсюда вытекает следующий способ построения: определив точку пересечения A прямых l_1 и l_2 и точку пересечения B прямых l и l_3, разложим данную силу $\boldsymbol{F}$ по направлениям AB и l_3, а затем разложим первую компоненту по направлениям l_1 и l_2.

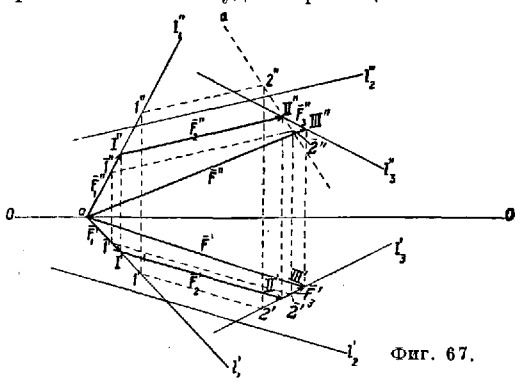
Что касается пространственных систем сил, то графостатич. построения для них усложняются, причем во многих случаях эти построения комбинируют с методами *начертательной геометрии* (см.). Проще всего дело обстоит при наличии пространственной сходящейся системы сил, равнодействующая к-рых по величине и направлению равняется замыкающей стороне неплоского силового мн-ка и линия действия к-рой проходит через общую точку пересечения линий действия данных сил. Если спроектировать данные сходящиеся силы на две взаимно перпендикулярные плоскости, то в каждой из этих плоскостей равнодействующая проекций сил равняется проек-

ции равнодействующей силы. Обе равнодействующие проекции в ортогональных плоскостях и определяют равнодействующую в пространстве. Конкретно эти построения м. б. выполнены методами начертательной геометрии. Если имеется пространственная несходящаяся система сил, то, взяв произвольную точку O, можно, как мы видели выше, перенести в эту точку все векторы сил, сохраняя их величину и направление и прибавляя при переносе каждого вектора соответствующий моментный вектор пары сил. Так как проекция моментного вектора каждой добавочной пары на какую-либо ось равняется моменту проекции переносимой силы на плоскость, перпендикулярную к оси, относительно точки пересечения оси с плоскостью, то графически задача сводится к следующему. Спроектировав данную систему сил на три взаимно перпендикулярные плоскости и построив в каждой из них силовые и веревочные мн-ки для этих проекций, найдем три равнодействующие последних, определяющие равнодействующую силу в пространстве. В то же время моменты равнодействующих сил, находящихся в плоскостях проекции, относительно точки пересечения плоскостей соответственно равны проекциям равнодействующего моментного вектора пар на взаимно перпендикулярные прямые, по которым пересекаются плоскости проекции. Зная же эти проекции, можно определить уже затем и положение равнодействующего моментного вектора пар, т. е. положение равнодействующей пары в пространстве. Однако для определения положения в пространстве лишь вектора равнодействующей силы достаточно спроектировать систему сил на две взаимно перпендикулярные плоскости; для определения же положения моментного вектора равнодействующей пары необходимо спроектировать систему сил на три взаимно перпендикулярные плоскости. Можно применить еще и следующий графический метод приведения пространственной системы. Каждая из сил $\boldsymbol{F}$ данной системы может быть разложена на две компоненты, из которых одна $\boldsymbol{F}_3$ лежит в плоскости S, а другая $\boldsymbol{F}'$ приложена к некоторой произвольной точке A, не лежащей в плоскости S (фиг. 66). Для этого проведем через $\boldsymbol{F}$ и A плоскость, пересекающую плоскость S по прямой l, и продолжим линию действия силы $\boldsymbol{F}$ до пересечения с l в точке O. Переместив затем $\boldsymbol{F}$ в O, разложим ее на две компоненты: одну по направлению l, а другую по направлению OA. Первая компонента и дает нам силу $\boldsymbol{F}_3$, а вторая, перемещенная вдоль OA в точку A, дает силу $\boldsymbol{F}'$. Точно так же можно поступить и со всеми остальными силами системы.

Для того чтобы разложить данную силу $\boldsymbol{F}$ на три сходящиеся компоненты $\boldsymbol{F}_1$, $\boldsymbol{F}_2$, $\boldsymbol{F}_3$, не лежащие в одной плоскости и линии действия которых l_1, l_2, l_3 даны, можно применить следующий графический метод. Сначала определяется линия действия l_{12} равнодействующей $\boldsymbol{F}_{12}$ сил $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$ как прямая, по которой пересекаются плоскости (l_3, l_{12}) и (l_1, l_2), а затем разлагают силу $\boldsymbol{F}$ на компоненты $\boldsymbol{F}_3$ и $\boldsymbol{F}_{12}$, а $\boldsymbol{F}_{12}$ на компоненты $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_2$. Можно применить для этой же цели еще и следующий метод. Пусть сила $\boldsymbol{F}$ дана ее горизонтальной и вертикальной проекциями $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}''$ (фиг. 67) и пусть направления l_1, l_2, l_3 также даны их горизонтальными и вертикальными проекциями (l_1', l_1''), (l_2', l_2''), (l_3', l_3''). Очевидно далее, что сила $\boldsymbol{F}'$ должна оказаться замыкающей стороной силового мн-ка сил $\boldsymbol{F}_1', \boldsymbol{F}_2', \boldsymbol{F}_3'$, точно так же как $\boldsymbol{F}''$ — замыкающей стороной силового мн-ка сил $\boldsymbol{F}_1'', \boldsymbol{F}_2'', \boldsymbol{F}_3''$, причем соответствующие вершины мн-ков должны лежать, по правилам начертательной геометрии, на перпендикулярах к оси OO. Направления проекций компонент $\boldsymbol{F}_1$ и $\boldsymbol{F}_3$ определяются непосредственно прямыми (l_1', l_1'') и (l_3', l_3''). Для определения же направлений $\boldsymbol{F}'$ и $\boldsymbol{F}''$ поступают след. обр. Проведя $1'2' \parallel l_2'$ как предварительную проекцию $\boldsymbol{F}_2'$, находим предварительную же вертикальную проекцию $1''2''$. Если переместить $1'2'$ в положение $\bar{1}'\bar{2}'$ параллельно самой себе и притом таким образом, чтобы крайние точки остались на l_1' и l_3', то $1''2''$ перейдет в положение $\bar{1}''\bar{2}''$, причем точка $2''$ будет перемещаться по некоторой прямой d. Следовательно, построив второй вспомогательный четырехугольник $1'\bar{1}''2''\bar{2}'$ и соединив точки $2''$ и $\bar{2}'$ прямой, определяем точку пересечения II'' прямой d с l_3''. Проведя затем $I''II''$ параллельно l_2'', определим как силовой многоугольник $OI''II''III''$, так и силовой многоугольник $OI'II'III'$ (метод Мюллера-Бреслау).



Фиг. 66.



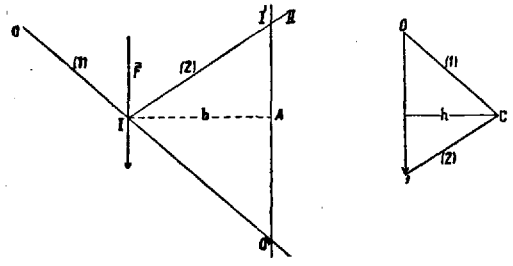
Фиг. 67.

В последние годы, обобщая выводы графостатики плоских систем, создали стройную систему графостатич. методов для пространственных сист м сил (Мизес, Майор и др.). В основу пространственной графостатики положены следующие принципы. Пусть имеется сила $\boldsymbol{F}$, компоненты которой по осям координат суть $\boldsymbol{X}'$, $\boldsymbol{Y}'$, $\boldsymbol{Z}'$. В плоскости xOy можно всегда найти такой вектор, проекции которого $\boldsymbol{X}$, $\boldsymbol{Y}$ на оси координат равны компонентам $\boldsymbol{X}'$ и $\boldsymbol{Y}'$ и момент которого $\boldsymbol{M}$ относительно начала осей координат равен $c\boldsymbol{Z}'$, где c—некоторая постоянная величина. Т. о. имеется зависимость:

$$\boldsymbol{X}' = \boldsymbol{X},\ \boldsymbol{Y}' = \boldsymbol{Y},\ c\boldsymbol{Z}' = \boldsymbol{M},$$

дающая возможность свести вопросы о сложении и разложении пространственных систем сил к сложению и разложению плоских систем.

Графостатические методы имеют громадное прикладное значение, особенно в таких областях знаний, как сопротивление материалов, строительная механика при расчете *балок* (см.), *ферм* (см.), *мостов* (см.) и т. д.



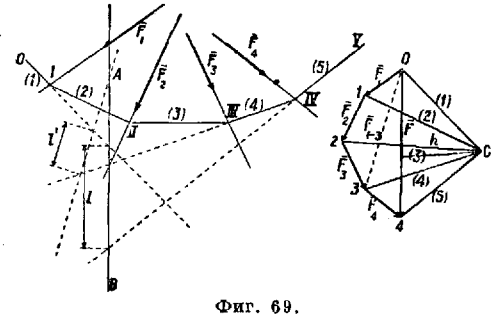
Фиг. 68.

В основе этих расчетов графостатического характера лежат следующие положения. Допустим, что требуется определить момент силы F относительно данной точки A (фиг. 68). Построив полярную фигуру и нитяной мн-к и продолжив стороны последнего до их пересечения в точках $0'$ и $1'$ с прямой, проведенной через A параллельно F, получим отрезок $0'1'$, пропорциональный величине искомого момента. В самом деле: обозначая расстояние от точки A до F через b, а расстояние от C до 01 через h, имеем из подобия тр-ков $I\ 1'\ 0'$ и $0C1$:

$$\frac{b}{h}=\frac{\overline{0'1'}}{\overline{01}}, \text{ или, т. к. } \overline{01}=F,\ b\cdot F=h\cdot\overline{0'1'},$$

что и показывает, что отрезок $0'1'$ пропорционален моменту bF, причем фактором пропорциональности является расстояние h. Если рассматривать величину h как силу, то получаем, что момент F относительно A равняется произведению величины силы h на отрезок $0'1'$, причем h измеряется масштабом полярной фигуры, а $0'1'$—масштабом основной фигуры. Если в частности принять $h=1$, то $Fb=\overline{0'1'}$. Знак момента определяется стороной вращения F около A.

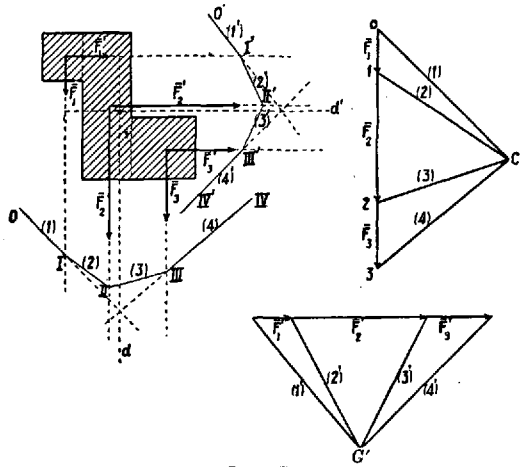
Пусть имеем в более общем случае плоскую систему сил $F_1, F_2, \ldots, F_n$ (фиг. 69).



Фиг. 69.

Так как алгебраич. сумма моментов сил составляющих, относительно какой-либо точки, равняется моменту равнодействующей силы относительно той же точки, то для того чтобы найти алгебраическую сумму моментов сил $F_1, F_2, \ldots, F_n$ относительно какой-либо точки A, достаточно построить при помощи силового и нитяного мн-ков равнодействующую F и найти вышеприведен. графич. способом момент F относительно A, т. е. продолжить крайние стороны нитяного мн-ка до их пересечения с прямой $AB \parallel F$ и умножить получившийся так. обр. отрезок l на полюсное расстояние h. Очевидно, что, пользуясь этим методом, можно получить алгебраич. сумму моментов любой группы данных сил. Так напр., для группы сил F_1, F_2, F_3 достаточно провести через A прямую параллельную 03 полярной фигуры и найти точки пересечения ее со сторонами 01 и $III\ IV$. Получившийся отрезок l', умноженный на полюсное расстояние от C до 03, и даст алгебраическую сумму моментов рассматриваемой группы сил относительно точки A. Приведенные построения применимы очевидно и для системы параллельных сил; в этом случае расстояния от полюса C до всех сторон силового многоугольника между собою равны. О практических применениях указанных построений см. *Балки простые*, *Фермы* и др.

Графические построения при помощи силового и нитяного мн-ков применяются помимо того еще и во многих других случаях,



Фиг. 70.

напр. для графического определения ц. т. плоских фигур, для определения распределения силы тока и напряжения в проводах, при графич. интегрировании дифференциальных ур-ий и т. д. Для графич. определения ц. т. однородной площади применяют следующий м-тод. Данную площадь разделяют на ряд таких частей, положения ц. т. к-рых известны либо точно либо приблизительно (фиг. 70). Т. к. при однородности всей площади вес каждой ее части пропорционален площади последней, то, приложив к ц. т. частей параллельные векторы, пропорциональные соответствующим площадям, определяют при помощи нитяного и силового мн-ков линию действия d равнодействующей всех векторов. Повернув затем все векторы на один и тот же угол и сохраняя при этом неизменными величины их, построим аналогичным образом новую линию действия d' равнодействующей повернутых

векторов. Точка пересечения d и d' и определяет ц. т. всей площади.

Лит.: Жуковский Н. Е., Аналитич. механика, М.—Л., 1925; Чаплыгин С. А., Механика систем, ч. 1—2, М.—Л., 1923—24; Мещерский М. В., Курс теоретической механики, ч. 1—2, М.—Л., 1927—28; Бобылев Д., Руководство к курсу теоретич. механики, СПБ, 1895; Суслов Т. К., Основы аналитической механики, 2 изд., ч. 1—3, Киев, 1911—12. Burmester L., Lehrbuch der Kinematik, Leipzig, 1886—88; Schoenflies A., Geometrie d. Bewegung in synthetischer Darstellung, Lpz., 1886; Schoenflies A. u. Grübler M., Kinematik, «Enz. d. math. Wiss.», B. 4, T. 1, Abt. 1, H. 2, B.—Lpz., 1902; Grübler M., Lehrbuch d. technischen Mechanik, 2 Aufl., B. 1, B., 1921, B. 2, B., 1923; Grübler M., Getriebelehre, Berlin, 1921; Heun K., Lehrbuch d. Mechanik, B. 1, Kinematik, Leipzig, 1906; Föppl A., Vorlesungen über technische Mechanik, B. 1—6, B.—Lpz., 1921—27; Pöschl Th., Lehrbuch der technischen Mechanik, 2 Aufl., Berlin, 1930; Wittenbauer F., Graphische Dynamik, Berlin, 1923; Krause M., Analysis der ebenen Bewegung, Lpz., 1920; Study E., Geometrie der Dynamen, Leipzig, 1903; Timerding H., Geometrie der Kräfte, Lpz.—Berlin, 1908; Hennenberg L., Die graphische Statik d. starren Syste.ne, 2 Aufl., Lpz.—B., 1911; Ball R., A Treatise on the Theory of Screws, Cambridge, 1900; Darboux G., Mémoire sur l'équilibre astatique, Bordeaux, 1877; Routh E. A., Treatise on Analytical Statics, v. 1—2, ed. 2, Cambridge, 1909; Routh E., Elementary Rigid Dynamics, L., 1892; Routh E., Die Dynamik d. System starrer Körper, B. 1—2, Leipzig, 1898; Cremona L., Le figure reciproche nella statica grafica, Milano, 1879; Mayer B., Statique graphique des systèmes de l'espace, Lausanne, 1910; Mayer B., Statique graphique, Lausanne, 1926; Herzog J. und Feldmann C., Die Berechnung elektr. Leitungsnetze in Theorie u. Praxis, 4 Aufl., B., 1927; Appel P., Traité de mécanique rationnelle, t. 1—4, P., 1920—24; Charlier C., Die Mechanik d. Himmels, B. 1—2, Lpz., 1902—1907; Hamel G., Elementare Mechanik, 2 Auflage, Lpz., 1922; Lamb H., Higher Mecanics, Cambridge, 1920; Lamb H., Dynamics, 2 ed., Cambridge, 1923; Lorenz H., Lehrbuch d. techn. Physik, 2 Aufl., B. 1—2, Berlin, 1924—26; Love A., Theoretische Mechanik, B., 1920; Marcolongo R., Theoretische Mechanik, B. 1—2, Lpz., 1911—12; Müller C. und Prange G., Allgemeine Mechanik, Hannover, 1923; Plank M., Einfuhrung in die allgemeine Mechanik, 4 Aufl., Lpz., 1928; Rausenberger O., Lehrbuch d. analyt. Mechanik, Lpz., 1888; Thomson W. a. Tait P., Treatise on Natural Philosophy, Cambridge, 1879—83; Webster A., The Dynamics of Particles, 3 ed., Lpz., 1925; Whittaker E., Analyt. Dynamik d. Punkte u. starrer Körper, B., 1924; Cranz C., Lehrbuch d. Ballistik, B. 1—3, B., 1925—27; Gray A., A Treatise on Gyrostatics a. Rotational Motion, Theory a. Applications, L., 1918; Hagen J., La rotation de la terre, Roma, 1911; Poincaré H., Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste, t. 1—3, Paris, 1892—99; Klein F. u. Sommerfeld A., Über die Theorie d. Kreisels, H. 1—4, Lpz.—B., 1910—23; Grammel R., Der Kreisel, seine Theorie u. seine Anwendungen, Brschw., 1920; Tisserand F., Traité de mécanique céleste, t. 1—4, P., 1889—96; Painlevé P., Leçons sur le frottement, P., 1895; Noether F., Die Bewegung einer rollenden Kugel, Mch., 1909; Fischer O., Theoretische Grundlagen f. eine Mechanik d. lebenden Körper, Lpz.—B., 1906; Thomson J., Applications of Dynamics to Physics a. Chemistry, L., 1886; Herz H., Die Prinzipien d. Mechanik in neuem Zusammenhang, 2 Aufl., Lpz., 1910; Bolzmann L., Vorlesungen über die Prinzipe d. Mechanik, T. 1—2, Lpz., 1922; Galilei G., Discorsi, Leiden, 1638; Huygens Ch., Horologium oscillatorium, P., 1673; Euler L., Mechanica sive motus scientia, СПБ, 1736; Lagrange J., Mécanique analytique, Paris, 1815; Laplace P., Mécanique céleste, P., 1805; Foucault L., Recueil des travaux scientifiques, P., 1878; Poinsot L., Théorie nouvelle de la rotation des corps, P., 1834; Poisson S., Traité de mécanique, 2 éd., P., 1833.

М. Серебренников.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, технологич. процесс придания материалу той окончательной геометрич. формы, которая требуется для правильного функционирования данной детали, гл. обр. обработкой резанием. Современная техника стремится поставить предварительные технологич. процессы (ковку и отливку) в такие условия, чтобы припуск на М. о. был возможно малым; это даст двойную выгоду: 1) наименьшую затрату металла на изделие, что уменьшает стоимость металла в изделии и самой М. о. его, и 2) зачастую обеспечивает наибольшую прочность изделия (см. *Кузнечное производство*). Исходя из этих положений, нужно признать неправильной такую постановку процесса М. о., когда при составлении плана обработки ставят сверхмощные обдирные станки, снабженные самыми быстрорежущими инструментами из специальных сплавов (стеллит, видиа и т. п.) для снятия очень больших припусков, полученных при горячей обработке. Правильное решение вопроса состоит в том, чтобы поставить технологич. процесс горячей обработки в такие условия, при к-рых припуски были бы технически возможно малыми и на долю М. о. оставалось лишь снятие небольших припусков. В этом отношении в америк. практике давно уже применяется, напр. для изготовления разных валиков, холоднотянутый материал, причем шлифуют только места трения (шейки валов), а остальная поверхность остается черной. Для успешного проведения М. о. следует обращать внимание на физич. состояние обрабатываемого металла; напр. в закаленном состоянии металл, имеющий аустенитовую или мартенситовую структуру (см. *Металлография*), обрабатывается очень трудно; имеющий структуру зернистого или крупнослойного перлита не м. б. чисто обработан; лучшей структурой стали для М. о. надо считать пластинчатый перлит, полученный после правильного отжига. Отсюда следует, что М. о. должна иметь место после соответствующей терм. обработки, но т. к. металл поступающих в сборочный цех деталей должен обладать соответственными механич. качествами, то очевидно, что после черновой М. о. изделие д. б. подвергнуто специальной термич. обработке, сообщающей требуемые механич. качества изделию.

После всякой горячей обработки поверхность металла бывает окислена, и необходима добавочная М. о.—отделка. Поэтому обычно обработка идет в такой последовательности: 1) горячая обработка (ковка, отливка и т. п.); 2) термич. обработка, сообщающая металлу свойства наименьшего сопротивления для М. о.; 3) М. о. с припуском для окончательной отделки; 4) термич. обработка, сообщающая металлу изделия требуемые конструктором качества; 5) М. о. для отделки. Изделие, подвергаемое М. о. после термич. обработки, проверяется на твердость способами Бринеля или Шора. Англ. производственники из многочисленных наблюдений нашли следующее соотношение между обрабатываемостью и твердостью. Если принять за 100 количество стружки, снятой на токарном станке со стали, имеющей временное сопротивление на разрыв 40 *кг/мм*^{2} и $П_{B_r}=97$, то количество стружки, снятой при различных способах обработки с металла данного качества выразится числами, приводимыми ниже в таблице. Из этой таблицы видно, что имеется оптимальная твердость для обработки. Коммерчески невыгодна обработка обычными режу-

Сравнительные данные по обработке металлов.

H_{Br}	Обрабатываемость при М. о. на станках (приблизительно):		
	токарных и строгальных	фрезерных	сверлильных
80	95	75	60
97	100	80	70
118	95	75	65
140	90	70	60
166	80	65	55
192	65	50	40
207	50	35	30*
235	35	25*	20
262	25*	15	10
286	20	10	5
311	15	7	3
340	10	5	2
364	7	3	1
387	5	2	—
402	3	1	—

* Числа, стоящие ниже черты, указывают на затруднительность М. о. данного металла.

щими инструментами, если коэф-т снятия стружки меньше 30—35. В этом случае необходимо заменять обычный режущий инструмент специальными сплавами (стеллит, видиа, воломит и т. п.). Т. к. очень мягкий металл трудно режется быстрорежущим инструментом из-за вьющейся стружки, то в сплавы меди, напр. в латунь, прибавляют свинец (до 1,5%), чтобы получить сыпучую, а не вьющуюся стружку. Для обработки железных прутьев на автоматах, чтобы избежать вязкой вьющейся стружки, прибавляют в железо серу и фосфор. Так напр. металл для шурупов по дереву изготовляется с содержанием S ~ 0,10% (до 0,15%), P ~ 0,10%; поэтому стружку от такого металла надо собирать отдельно от стружки с обрабатываемых деталей из конструкционной стали, чтобы не загрязнить металл вредными примесями. Принципиально следует установить такой технологич. процесс производства, чтобы из горячей обработки получать изделия с возможно меньшими припусками, причем М. о. только очищала бы поверхность от окалины, которая неизбежно сопутствует всякому нагреву. Хотя технологич. процессы современной техники и далеки от полного решения этой задачи, однако имеются уже близкие решения, например отливка под давлением (цветной металл) без М. о.; в штамповочных высадочных изделиях М. о. дает не более 10—15% стружки, тогда как неправильные технологические процессы переводят в стружку и обрезки до 80—85% металла.

Лит.: Werkstoff-Handb., Stahl u. Eisen, Düsseldorf, 1927; Werkstoff-Handb., Nichteisenmetalle, B., 1927; «Z. d. VDI», «Maschinenbau», B. **К. Грачев.**

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ, см. *Испытания материалов.*

МЕХОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО, обработка пушнины и мехового сырья в готовый фабрикат (мех). М. п. складывается из трех самостоятельных отраслей: 1) сырейной, имеющей целью превратить сырую шкуру в выделанный мех без изменения окраски волос и кожи; 2) красильной, задача которой изменить окраску, часто и форму, волосяного покрова шкуры, а в некоторых случаях и окраску кожи, и 3) скорняжной, имеющей дело с превращением отдельных выделанных или выделанных и окрашенных шкур в меховые изделия.

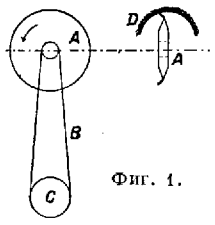
Сырейная отрасль М. п. родственна *кожевенному производству* (см.), отличаясь от последнего лишь в деталях, обусловливаемых тем, что на шкуре необходимо сохранить волос. Красильная отрасль, будучи связана с сырейной, имеет также много общего с химич. обработкой шерстяного волокна. Вследствие этого учение о М. п.—технология меха—занимает промежуточное положение между технологией кожи и технологией шерсти, включая в себя основные элементы той и другой.

Выделка мехов есть вид дубления, благодаря к-рому кожа меха приобретает мягкость, тягучесть и свойство противостоять загниванию; в то же время волосяной покров шкуры сохраняет свою прочность и внешние свойства—цвет, рисунок, мягкость и т. п. Существует несколько способов выделки мехов: 1) хлебным киселем, 2) пикелем, 3) жиром, 4) алюминиевыми квасцами, 5) хромовыми солями, 6) формалином; последний способ выделки мехов в массовом производстве не применяется. Каждый способ состоит из ряда последовательно осуществляемых процессов химич. и механич. обработки шкуры. Большинство процессов является общим для каждого способа выделки: это процессы подготовительные перед собственно дублением и процессы отделочные, следующие после превращения сырой шкуры в мех. Типичная схема выделки мехов: отмока, мездрение, собственно дубление, сушка, отволаживание, разбивка, очистка волоса от пыли и полировка, подчистка кожи (мездры), правка шкуры. Переменным процессом в этой схеме является «собственно дубление», выполняемое различно, в зависимости от способа дубления; остальные процессы могут быть сохранены при всех способах.

Отмока производится в обыкновенной свежей воде $t°$ 18° в случае обработки погружением. В случае намазной обработки шкуры смачивают со стороны мездры водой и выдерживают в стопках. Время отмоки зависит от способа консервирования шкуры: самое длительное (для пресносухих шкур)—до 3 суток и самое короткое (для мороженых и мокросоленых)—до 12 ч. Хорошая размочка сырья является залогом хорошей выделки. Отмока производится в бетонных чанах прямоугольной формы, углубленных в землю и возвышающихся над уровнем пола на ~30 *см.* Для ускорения отмоку можно соединять с разбивкой и промывкой шкур, осуществляя ее в латных барабанах.

Мездрение, которое следует после отмоки, состоит из разбивки и собственно мездрения. Разбивка производится на стоячих скобах и имеет целью подготовить («разбить») ткань для лучшего проникновения в нее дубильных растворов. Мездрение освобождает шкуру от нижнего подкожного слоя, т. наз. мездры. Мездрение производят вручную на острых «косах» или на спе-

циальной дисковой мездрильной машине (крупные шкуры—собака, тюлень—мездрятся на кожевенной мездрильной машине). Детали машины (фиг. 1): *A* — дисковый нож, *B*—ременная передача, *C* — шкив и *D* — обрабатываемая шкурка. Обмездренные шкуры выделывают тем или иным химическим методом и после этого направляют их в сушилку.



Фиг. 1.

Сушку производят в тех же условиях, что и при кожевенном производстве, при *t*° 35°. Наиболее рационально сушку производить в механич. сушилках, оборудованных конвейерной установкой (с цепями Галля) и автоматич. разгрузкой. Воздух в сушилку подается подогретым и по увлажнении удаляется эксгаустером.

После сушки следует откатка шкур в глухом барабане с опилками белых твердых несмолистых пород, напр. березовыми, в продолжение 2—4 ч. В случае, если шкурки во время сушки пересохли, их предварительно или отволаживают со стороны бахтармы, смачивая водой и выдерживая в грудках, или пускают прямо в барабан со слегка увлажненными опилками. Барабан представляет собою цилиндрич. кожух, внутри которого по боковой поверхности набиты деревянные полки, перебрасывающие меха при вращении барабана. Опилки применяют для очистки волоса от жира и грязи. После откатки в глухом барабане шкуры «протряхивают» от опилок и пыли в сетчатом барабане, отличающемся от глухого барабана лишь тем, что его боковая поверхность обтянута проволочной сеткой. Барабан снабжается железным или деревянным кожухом, из к-рого опилки и пыль эксгаустером удаляют по железным каналам в приемник. Если волосяной покров шкуры очень жирен (а для нек-рых мехов, напр. хоря, жирность волоса — природное свойство), то он в глухом барабане специально обезжиривается. Обезжиривания волосяного покрова достигают вращением шкур в барабане с совершенно сухими опилками, в которые, смотря по надобности, добавляют скипидар, белый песок или специальные сорта глины в порошке (см. *Глина*, глины сукновальные). Барабан при этом подогревают газовыми горелками, подставляемыми под железную обшивку барабана, или просто окружают его утепленной будкой. После первой откатки шкуры разбивают на тупых стоячих скобах такого же устройства, как и применяемые при разбивке сырых шкур, или на разбивочных машинах, подчищают все неровности со стороны бахтармы на острой скобе (подчистка) и вторично откатывают в барабане с сухими опилками, подсушиваемыми в специальных аппаратах. При такой обработке достигается полировка волоса, от которой он приобретает блеск. Во время откаток шкуры отминаются, и кожа мехов приобретает необходимую мягкость. В заключение меха еще раз протряхивают в сетчатом барабане, расчесывают запутанный волос ческами и кардочками и оправляют, придавая шкурам принятую в торговле форму.

Выделка хлебным киселем. Характерно для выделки мехов то, что мокрые операции (отмока, собственно дубление) производятся не только погружением в жидкости, но и намазью со стороны мездры этими же жидкостями. Способ намазной обработки с успехом применяют для тонкомездрых (тонкокожих) мехов и в хлебной выделке для ценных мехов с целью предохранения волоса от пачкания киселем. Мерилом качества выделанного меха (в отношении кожи) до сих пор является выделка мучными киселями. Шкурки, выделанные посредством киселей, обладают весьма тягучей, мягкой и пухлой кожей. При выделке другими способами обычно стремятся получить аналогичные результаты. Такие качества кожа меха приобретает в результате сложного действия на нее киселя. Мучной кисель готовят чаще всего из толченого овса или ржи, пшеницы и ячменя грубого помола, с добавлением поваренной соли. В овчинном производстве наиболее употребительна смесь: 1 ч. ржаной и 2 ч. овсяной муки с 15—25% (по весу муки) поваренной соли; в М. п. пользуются преимущественно одной овсяной мукой. Муку или заваривают кипятком или размешивают в горячей (ок. 50°) воде. В том и другом случае полученный кисель (болтушку) охлаждают до 30—35° и дают ему забродить, добавляя дрожжей или закваску от старых киселей. Через сутки закисший кисель переносят в рабочий чан, разбавляют теплой водой до нужной *t*° (35—50°) и консистенции, добавляют соль, размешивают и производят закладку в чан обмездренных шкур.

Брожение киселя, наиболее подробно изученное Вудом, является сложным процессом, распадающимся на несколько фаз. Первая фаза характеризуется выделением газов. Вуд дает следующий состав газов, выделившихся из исследованных им киселей 25,2% CO_2, 2,5% O, 46,7% H, 26,0% N, H_2S—следы. Образование газов сопровождается превращением крахмала муки в глюкозу и декстрин, что обусловливается действием амилолитич. энзима—цереалина:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O = n\,(C_6H_{12}O_6).$$

Образовавшиеся сахара совместно с азотистыми веществами муки и отрубей затем сбраживают при помощи бактерий (Bacillus furfuris) с образованием органич. кислот: муравьиной, уксусной, масляной и молочной. Образование к-т идет приблизительно согласно следующим реакциям:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_3H_6O_3 \rightarrow \underset{\text{масляная к-та}}{C_4H_8O_2} + 2\,CO_2 + 2\,H_2.$$
(молочная к-та)

По анализам Вуда, кисель из отрубей с содержанием 20 *г* отрубей в *л* воды содержит в 1 000 $см^3$: молочной к-ты 0,7907 *г*, уксусной 0,2402 *г*, муравьиной 0,0306 *г*, масляной 0,0134 *г*, всего 1,0749 *г*.

В овчинном производстве СССР кисели употребляются с содержанием муки от 100 до 150 *г* в *л* жидкости. Кислотность таких киселей, по данным заводских лабораторий, составляет при пересчете на уксусную к-ту 20—25 *г/л*, P_H киселя ок. 3; содержание летучих к-т до 90%. Имеются попытки заменить хлебный кисель искусственным, составленным из уксусной и молочной кислот, но удовлетворительных результатов не получалось, т. к. при действии искусственного киселя не происходит повидимому разрыхления ткани кожи газами. Специфич. действие хлебного киселя на шкуру м. б. оха-

рактеризовано след. обр.: 1) образующиеся газы разрыхляют волокнистую ткань дермы; 2) органич. к-ты растворяют белковые вещества, склеивающие отдельные волокна кожи; 3) органич. к-ты вызывают обводнение коллагеновых волокон дермы, благодаря чему волокна выквашенной шкуры после сушки приобретают возможность скольжения и кожа делается более тягучей; 4) поваренная соль препятствует мажору кожи, получающемуся при обводнении волокон под действием к-т; 5) крахмалистые частицы киселя проникают в поры кожи и производят «смазку», облегчающую скольжение волокон друг около друга. Дефекты хлебного квашения: 1) неопределенность течения процесса; 2) трудность осуществления химич. контроля; 3) значительное ослабление волосяных луковиц, которое в дальнейшем затрудняет крашение меха; 4) возможность склеивания волоса декстринами киселя; 5) постоянное выделение газов и летучих к-т в заводском помещении; 6) неизбежное образование мучнистой грязи, затрудняющее чистку чанов и спуск из них жидкостей.

Техника хлебного квашения. В случае выделки мехов намазным способом шкурки смазывают киселем с мездры, складывают пирожком и оставляют лежать в грудках сутки; по истечении суток шкуры закладывают в кисель и здесь выдерживают при 35° один или несколько дней (некоторые меха, наприм. заяц-беляк, квасятся только намазью, без погружения в кисель). В случае окуночного квашения шкуры окунают в кисель, разболтанный в деревянном чане, и складывают в другой пустой чан (шкуры, поротые по чреву, предварительно складывают парами, волос к волосу). Когда вся партия «выкупана» в киселе и сложена в чан, шкуры заливают остатком киселя и оставляют на несколько дней при $t°$ 30—35°. Один раз в сутки шкуры перекладывают, а кисель, если он остыл, подогревают. Признаки готовности меха или овчины при квашении следующие: 1) при складывании кожи (мездры) вчетверо на месте перегиба образуется белая полоса; 2) при растягивании кожи последняя хорошо растягивается и не пружинит; 3) пропадает скользкость кожи; 4) волос на пашинах слабеет. Наиболее удобная форма чанов для квашения четырехугольная, с глухой перегородкой поперек для разделения чана на два получанка. В последнее время в связи с общей тенденцией к ускорению производственных процессов делаются опыты по квашению с движением жидкости и товара. Имеются предложения нескольких заводов (Барнаульского и др.) квасить в глухих барабанах или в баркасах с вращающимися лопастями. Квашение, таким образом производимое, значительно укорачивает процесс. Повидимому наиболее приемлемым является метод квашения в барабане или баркасе с периодическим вращением аппаратуры, заменяющей переборки, и с большим жидкостным коэфициентом во избежание свойлачивания волоса.

Выделка пикелем. Пикелем называют раствор, составленный из воды (100 вес. ч.), к-ты (1—2 ч.) и поваренной соли (~10 ч.). В настоящее время выделка пикелем получила широкое распространение, после того как была разработана рецептура жирования после пикеля щелочными эмульсиями, нейтрализующими вредное действие остающихся в коже к-т. Чаще всего применяют пикель с серной к-той. Действие его в некотором отношении аналогично действию хлебного киселя, но существенное его различие заключается в отсутствии рыхления ткани газами, имеющего место при хлебной выделке. Роль пикеля сводится к обезвоживанию дермы, вследствие чего волокна располагаются более свободно, в результате чего получается более мягкая кожа. К этому присоединяется высаливающее действие пикеля на протеины. При употреблении различных к-т и солей необходимо считаться с различной кислотностью растворов различных к-т и влиянием на кислотность рода и количества соли.

Концентрация кислоты пикеля оказывает сильное влияние на кислотность (величину P_H) в случае сильных к-т (серной, соляной) и, напротив, незначительное влияние в случае применения органич. (более слабых) к-т. Что касается влияния солей на кислотность пикеля, то оно различно: NaCl повышает кислотность как сильных неорганических, так и слабых органич. к-т в значительной степени; Na_2SO_4 вызывает заметное понижение кислотности; уксуснокислый натрий, добавленный в больших количествах, нейтрализует раствор. При погружении шкуры в пикель к-та и соль поглощаются кожей, причем кислота поглощается относительно значительно больше, чем поваренная соль. При 2%-ном содержании серной к-ты в пикеле кожа поглощает из пикеля 60% всей к-ты, а поваренной соли 20—30% от полного содержания ее в пикеле. Поглощение соли и обезвоживающее действие ее зависят от концентрации соли в пикеле, так что при пиклевании бо́льшую роль играет не отношение между весом голья шкуры и солью, а отношение между солью и объемом раствора пикеля. По Проктеру, во всех пикелях с преобладающим количеством поваренной соли, какая бы к-та ни употреблялась, шкура поглощает из пикеля гл. обр. соляную к-ту и поваренную соль, что объясняется диссоциацией к-т в растворах. Но все же существуют различия в действии пикелей, составленных из поваренной соли и различных кислот, выражаемые разным количеством кислоты, поглощенной гольем. При сравнении различных пикелей, составленных из воды, поваренной соли и различных кислот (10% поваренной соли и 1% серной кислоты или эквивалентное количество кислот соляной, уксусной и молочной) В. Эйтнер и Э. Стясны нашли различное количество поглощенной кислоты в голье (табл. 1).

Табл. 1.—Действие различных по составу пикелей на кожу.

Составы пикеля в % от гольевого веса			Поглощено к-ты (в %) от гольевого веса по расчету на HCl
Поваренная соль	Кислота	Вода	
10	1 серной к-ты	200	0,67
10	10 соляной »	200	0,69
10	10 уксусн. »	200	0,47
10	10 молочн. »	200	0,27

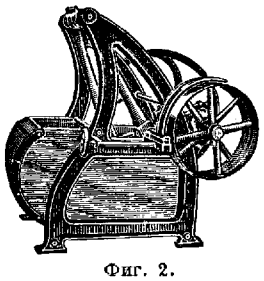
Отсюда следует, что шкура поглощает из пикеля больше к-ты в том случае, когда он составлен из серной или соляной к-т. Что касается поваренной соли, то ее поглощение зависит не от рода и количества примененной к-ты, а исключительно от содержания ее в пикеле. Количество поглощенной к-ты зависит также от концентрации ее в пикеле, но не в строгой пропорциональности, а именно: из разбавленных растворов к-ты поглощается сравнительно больше, чем из растворов концентрированных. Весьма важным для техники пиклевания является вопрос о том влиянии, к-рое оказывают пикели различного состава на обезвоживание дермы шкуры, т. к. от этого явления гл. обр. зависит получение меха с мягкой кожей. По Стясны, весьма вероятно, что, в зависимости от выбора к-ты для пикеля и концентрации к-ты и поварен-

ной соли в нем, достигается различная степень удаления воды из дермы и следовательно различная степень расщепления волокон. Теория этого вопроса опирается, с одной стороны, на работы Проктера, выяснившего влияние нейтральных солей на диссоциацию образующихся солей коллагена и связь этого явления с опаданием голья; с другой стороны, в этом вопросе большую роль играют гидратация солей и влияние солей на осмотич. давление. Смотря по роду к-ты, примененной в пикеле, соли коллагена должны быть более или менее непроницаемы, и следовательно в зависимости от рода и концентрации соли пикеля должна быть различна и способность соли к диффузии в кожевую ткань. Оба фактора влияют следовательно на осмотическое давление, т. е. на степень удаления воды из голья.

Выделка пикелем является сейчас наиболее распространенным методом в Европе и Америке и введена в СССР во всех крупных государственных предприятиях. За границей она производится гл. образом по намазному методу, в СССР—по окуночному. Для последнего метода используют чаны, баркасы с вращающимися лопастями и барабаны. Самая скорая выделка—барабанная (~6 ч. для кошки и мерлушки); выделка в баркасах занимает промежуточное положение (~24 ч.); выделка в чанах—самая продолжительная. Чаще всего применяют пикель из серной кислоты и поваренной соли. Концентрации составных частей пикеля для намазного метода даются более значительные, чем для окуночного. Они колеблются в следующих пределах: поваренная соль 8—11° Bé, купоросное масло 1—3° Bé. Иногда применяют комбинированные пикели с прибавлением хромовых или алюминиевых квасцов. С теоретич. точки зрения, поскольку имеющаяся в растворе серная кислота понижает гидролиз сернокислого алюминия или хрома и этим самым лишает их дубящего действия, прибавление последних в пикель кажется излишним.

Выделка квасцами. Раствор для этой выделки представляет собою своеобразный пикель из поваренной соли и алюминиевых квасцов или сернокислого алюминия и воды. Этот метод основан на гидролизе алюминиевых солей, причем получающаяся серная к-та образует с поваренной солью обычный пикель, а получающаяся одновременно основная соль производит дубящее действие. Примерный состав раствора: на 1 *л* воды 30 *г* алюминиевых квасцов и 30 *г* поваренной соли.

Жирование. Выделка пикелем и квасцами обязательно требует жирования кожи щелочными эмульсиями после пиклевания. Эмульсии изготовляются из разных животных жиров с прибавлением аммиака.



Фиг. 2.

Употребительны следующие жиры: копытное масло, дегра, ализариновое масло, сульфированная ворвань, яичный желток; животные жиры частично заменяются минеральными маслами. В качестве эмульсатора применяют мыло «Монополь». Цель жирования — нейтрализовать свободную серную кислоту в коже и дать смазку волокнам кожи. Для мехов с очень плотной мездрой жирование производят в мялках (фиг. 2). Жирование производят сейчас же после пиклевания, после чего шкуры сушат и обычным образом отделывают.

В табл. 2 приведены анализы шкур кошки домашней, кролика и мерлушки, выделанных пикелем из серной к-ты и поваренной соли (исследования Н. В. Булгакова и В. В. Голованова).

Табл. 2.—Состав и механические свойства шкур, выделанных пикелем (в %).

Состав и свойства	Кошка домашняя	Кролик	Мерлушка среднеазиатская
Влага	18	18	18
Зола	7,81— 8,37	5,94— 9,96	5.57— 5,73
Жир	12,03—12,90	1,88— 4,30	8,13— 8,72
Гольевое вещество . . .	57,86—57,98	62,07—70,55	63.04—63,50
SO_3 общая .	1.81— 2,99	0.81— 1,25	1,54— 1.82
SO_3 связан. .	0.74— 1,33	0.28— 0,66	1.09— 1.25
SO_3 свободн.	0.68— 1,81	0.26— 0,78	0,15— 0,10
NaCl	2,45— 4,64	2,78— 8,39	2,86— 2,94
Разр. усилие в *кг/мм²* . . .	2,90— 3,20	1,98— 2,00	1,8

Высокое содержание свободной серной к-ты отражается на прочности кожи: свободная H_2SO_4 действует на кожу разрушающе.

Хромовое дубление мехов используется гл. обр. в качестве додубки при крашении мехов, для чего исключительно применяется одновanный метод дубления.

Крашение мехов преследует разнообразные цели: 1) оно исправляет недостатки в естественной окраске ценных мехов, напр. соболя, куницы, норки, шиншиллы; 2) улучшает естественную окраску нек-рых мехов, напр. каракуля, черной мерлушки, морского котика; 3) имитирует окраску благородных мехов на дешевых, массовых видах пушнины и мехового сырья, напр. окраску: а) соболя и норки на суслике-песчанике, сурке, колонке, белом хоре, б) нутрии на стриженой пуховой овчине, в) голубого песца на зайцебеляке, г) бобра на бельке (молодом тюлене); 4) дает мехам окраску и вид, совершенно не встречающиеся в природе, увеличивая т. о. ассортимент пушных товаров. В последнем случае красят в самые разнообразные цвета, диктуемые требованиями моды: беж, стальной, дымчатый, платиновый, каштановый и т. п. Наиболее развитой областью крашения является имитирование ценных мехов на дешевых, массовых видах пушнины и мехового сырья.

Крашение мехов в технологич. отношении является до сих пор в значительной степени искусством, требующим большого опыта и художественного чутья; трудности заключаются в том, что мех представляет неоднородный материал, состоящий из кожи и волосяного покрова. Последний в свою очередь неоднороден, распадаясь на ость и пух, обладающие различными физич. свойствами. Неоднородность свойств распространяется так далеко, что волос имеет разные свойства на разных частях шкуры, напр. свойства волоса на спине резко отличаются от свойств волоса на череве. Наконец б. ч. окраска волоса на протяжении всей шкуры также неоднородна, причем и в горизонтальном направлении и в вертикальном имеет

ярусность. Перечисленная разнородность свойств усиливается при сравнении нескольких шкурок одного и того же вида, не говоря уже о мехах различных наименований. Эта неоднородность свойств сильно осложняет крашение партий мехового товара под определенный образец. Далее при крашении мехов обрабатываются два материала, обладающие различными свойствами: волос и кожа. Кератин, из которого состоит волос, и коллаген, образующий кожу, неодинаково реагируют на щелочи, к-ты, горячую воду и другие химич. реагенты, действию к-рых подвергается мех в процессе крашения. Поэтому методы обработки волоса и кожи, взятые сами по себе, для М. п. не подходят, требуя разнообразных коррективов. Помимо естественных свойств кожи и волоса, в крашении приходится считаться со свойствами кожи, которые последняя приобретает после предварительной выделки. Обычная выделка мехов—хлебная или пикельная—дает кожу, не выдерживающую $t°$ красильной барки выше 35—40°; при $t°$ более высокой мех получается с жесткой, неэластичной и ломкой кожей, резко понижающей товарную ценность его. Способ выделки влияет также на окраску мехов; выделанные различными способами меха получают различные нюансы при одном и том же рецепте крашения; это объясняется тем, что волос в процессе выделки одновременно с кожей вступает во взаимодействие с применяемыми хим. реагентами в красильной ванне. И наконец к окрашен. мехам предъявляют требования в отношении маркости и прочности окраски к свету и хранению. Вследствие перечисленных обстоятельств в настоящее время только очень ограниченная группа красителей и методов крашения удовлетворяет практич. требованиям. Применяются следующие способы крашения: 1) крашение минеральн. красителями; 2) крашение растительными красителями; 3) крашение синтетическими органическ. красителями (урсолы и черный анилин). Для всех способов крашения первоначальные операции одинаковы (исключение составляет крашение черным анилином и крашение намазью пухового товара в нежные цвета, например муфлона в голубой цвет).

Методология крашения органич. красителями состоит из ряда последовательных процессов, распадающихся на подготовительные перед крашением, собственно крашение и отделочные процессы. Наиболее типичная схема крашения следующая: 1) уморение намазью, 2) сушка, 3) протряхивание в сетчатом барабане, 4) уморение окуночное, 5) промывка, 6) отжим, 7) крашение окуночное, 8) вторич. промывка, 9) отжим, 10) мягчение кожи, 11) сушка, 12) отволаживание, 13) отминка в глухом барабане с опилками, 14) протряхивание в сетчатом барабане, 15) разбивка на скобах, 16) вторичная отминка и протряхивание в барабане, 17) крашение намазью, 18) сушка, 19) отминка в глухом барабане, 20) протряхивание в сетчатом барабане, 21) разбивка на скобах, 22) протряхивание в сетчатом барабане, 23) правка.

Уморение, или обезжиривание, заключается в обработке волоса щелочами. Цель уморения двойная: 1) омылить жир, обволакивающий кутикулу волоса и препятствующий его смачиванию, и 2) разрыхлить кутикулу, с тем чтобы облегчить проникновение красителя. От правильно проведенного процесса уморения зависит успех крашения. По силе действия на кератин щелочи располагаются в следующем порядке: едкий натр, гашеная известь, аммиак, кальцинированная сода. Этот порядок соответствует активности гидроксильного иона. Влияние различных щелочей на волос различных торговых видов мехов до сих пор систематически не изучено. Процесс уморения представляется в следующем виде (по Б. Ф. Церевитинову): придя в соприкосновение с волосом, щелочь омыляет покрывающий волос жир, производит частичное разрушение кутикулы и проникает внутрь волоса через тончайшие щели, имеющиеся в корковом слое. Сердцевина и корковый слой под действием уморителя разбухают и, давя на кутикулу, раздвигают и расщепляют чешуйки, к-рые вследствие этого расходятся своими свободными концами (табл. 3).

Табл. 3. — Действие на волос различных уморителей.

Уморитель	Концентрация	Средний коэф. расширения волоса
Аммиак 25%-й (на $л$)	3 $см^3$	1,63
	10 »	3,20
	25 »	5,65
Углекислый натрий (на $л$)	5 $г$	1,49
	10 »	3,47
Едкий натр	1° Bé	36,65
	2° Bé	55, 0
Перекись водорода 3%-ная	—	2,75

После расщепления кутикула образует между чешуйками свободные проходы, через к-рые краска проникает внутрь волоса. Процесс уморения ускоряется с повышением концентрации и $t°$.

При высушивании уморенного волоса путем нагревания (40 — 45°) он сильно уменьшается в диаметре.

Отношение ости и пуха к уморению различно. Ость требует более сильного уморения, особенно концы ее. Вследствие этого уморение для мехов, обладающих остью и пухом, применяют двух родов: намазное и окуночное. Намазное, осуществляемое посредством намазывания раствора щелочи на поверхность волосяного покрова мягкой щеткой, производится более крепкими растворами щелочей, а окуночное, заключающееся в погружении шкур в раствор щелочи,—более слабыми растворами. Особняком стоит уморение перекисью водорода с добавлением аммиака. Действие этого уморяющего средства повидимому объясняется окислением кератина. Шерсть обладает восстановительными свойствами, объясняющимися наличием в ней амидной группы. Повидимому при действии перекиси водорода на волос амидная группа окисляется, волос теряет восстановительные свойства и приобретает способность окрашиваться окислительными красителями. Практика такой вывод вполне подтверждает. Иногда уморение соединяют с последующим процессом протравления;

при этом смесь из гашеной извести, железного купороса и калиевых квасцов наносится щетками на концы волос.

Протравлением называется процесс обработки меха протравами, водными растворами нек-рых металлич. солей, преимущественно солей железа, меди и хрома (см. *Крашение* протравными красителями); обычно употребляют железный купорос, древесноуксуснокислое железо (железный настой), медный купорос, хромпик. Теория протравления заключается в том, что волос, обработанный раствором протравы, поглощает часть гидрата окиси металла, а другая часть остается в растворе. К-та протравной ванны тоже поглощается, но в незначительных размерах, причем основание и к-та протравы в виду происходящего при этом их гидролиза поглощаются так, как будто бы каждая составная часть имелась в растворе одна; последнее объясняет также, почему протравление идет скорее при нагревании. Чем концентрированнее протрава, тем более поглощается к-ты по отношению к основанию, а так как к-та мешает лакообразованию и изменяет оттенок краски, то следует протравливать всегда разбавленными растворами; кроме того при быстром поглощении гидрата окиси получается плохо закрепленная окраска. При протравлении обыкновенно прибавляют немного к-ты или кислой соли (винный камень, уксусная к-та), чтобы вызвать более полное использование протравы.

Свойства главнейших протрав. Железный купорос при соединении с красителем, волосом и кожей выделяет вредную для кожи серную к-ту; поэтому целесообразнее употреблять такую соль железа, которая выделяет слабые и летучие к-ты. В качестве таковой применяется железный настой—раствор уксуснокислой соли закиси железа в древесном уксусе, получаемый настаиванием железных обрезков в древесной подсмольной воде. Железный настой имеет ряд орган. примесей, препятствующих окислению закисной соли железа, благодаря чему работа с ним удобнее, чем с железным купоросом. Несмотря на эти преимущества, в М. п. употребляют как железный купорос, так и железный настой, т. к. оттенки окрасок, получаемых на этих протравах, неодинаковы. Медный купорос применяется чаще всего в черном крашении вместе с железными и хромовыми протравами. В нек-рых случаях он играет роль не только протравы, но и окислителя. В крашении черным анилином он играет роль лишь окислителя. Лаки на медной протраве обладают высокой прочностью. Из хромовых солей хромовые квасцы, в отличие от железных и алюминиевых солей, плохо усваиваются волосом (~ 0,1% от веса волоса); при помощи их хорошие окраски достигаются только в присутствии большого количества винного камня. Важнейшей хромовой протравой является хромпик. В противоположность железным и алюминиевым солям уксуснокисл. соли хрома разлагаются гораздо труднее, чем сернокислые. Видимые результаты протравления: 1) ускорение крашения, 2) изменение оттенков окраски, 3) увеличение прочности окраски к свету, трению, хранению и сублимации. Протравление производится или перед крашением, или одновременно с окраской, или после крашения. Наиболее рационально протравлять перед крашением, так как в этом случае вероятно имеет место химич. соединение основания протравы с кислотной группой кератина волоса,—такое химич. соединение обладает большим сродством к красителю и дает прочный лак. При протравлении и крашении в одной ванне теряется бесполезно часть красителя, осаждающегося в виде лака в красильном растворе. Каждый способ протравления можно осуществить как погружением, так и намазью. При крашении растительными красками протравляют сильнее, нежели при крашении окислительными меховыми красителями. При протравлении погружением необходимо учитывать влияние протравы на кожу. Протрава из железного купороса действует на кожу неблагоприятно; последняя грубеет и теряет прочность. Хромовые и алюминиевые квасцы улучшают свойства кожи; хромпик при применении его в небольших количествах также дает мягкую кожу, от медного купороса кожа грубеет. Для получения сложных оттенков применяются одновременно несколько протрав; смесь хромовой и железной протрав недопустима вследствие образования осадка, грязнящего волос. Протравление погружением производят в течение 3—12 ч. при $t°$ ванны 30—35°. После протравления меха перед крашением прополаскивают в воде. Мехам, протравленным намазью, дают вылеживаться в стойках; затем их сушат, протряхивают и красят.

Крашение меха, следующее за умориением и протравлением, производится двумя способами: погружением и намазью. Намазной способ применялся старинными мастерами вследствие неумения их сохранять качества кожи при окуночном крашении; в настоящее время с усовершенствованием способов крашения намазной способ вытесняется окуночным, позволяющим одновременно закрашивать тысячи штук пушнины. Но и в современных условиях намазной способ крашения еще не потерял своего значения, а в нек-рых случаях он является и единственным. Это относится: 1) к крашению «под котик» черн. анилином, где сильно кислые красящие растворы не позволяют окрашивать кожу одновременно с волосом; 2) к «русской краске», применяемой для подцветки соболей, куниц, норок и для окраски серых лисиц под чернобурые. Но и при окуночном крашении намазь краски, производимая щетками или гусиными перьями, в большинстве случаев также необходима. Это объясняется тем, что при имитации «под натуру» кончикам волос приходится давать более темные оттенки, нежели пуху и основанию ости, и для этого после или перед окуночным крашением наносить краску на кончики волоса. Для неглубокой намазки применяют щетки из конского волоса; для более глубокой намазки до корня волос, т. наз. пробивки, применяются щетки из щетины и наконец для очень легкого поверхностного нанесения краски на кончики ости пользуются перьями из гусиного крыла, связанными пучком.

Крашение минеральными красками является наиболее старинным способом, применявшимся до введения в практику искусственных органич. красителей. В настоящее время сохранился только один способ крашения по этому методу—уксуснокислым свинцом в серый цвет. Сущность этого метода заключается в том, что в чешуйчатом и корковом слоях волоса осаждают нерастворимые в воде цветные неорганич. соединения по одному из следующих способов: 1) посредством обработки волоса растворами метал лич. солей, разлагающихся при соприкосновении с волосом и образующих нерастворимый осадок; 2) действием растворов различных солей металлов, вступающих в обменное разложение и осаждающих на волосе нерастворимое соединение; 3) обработкой волоса легко окисляемыми растворами металлич. солей, образующими закрепляющийся на волосе осадок при окислении кислородом воздуха или с кислителем. В качестве примеров можно указать на крашение марганцов кислым калием в коричнево-бурый цвет, ляписом в черный и уксуснокислым свинцом в серый. Этот метод крашения можно соединять с вытравкой для получения рисунков по цветному фону, напр. вытравкой бисульфитом по марганцовокислому калию можно получать на белом волосяном покрове белый рисунок по коричневому фону. При крашении уксуснокислым свинцом сперва протравляют волос уксуснокислым свинцом, затем обрабатывают серной печенью (смесью полисульфидов натрия и калия), причем получается серая до черной окраска от образующегося сернистого свинца; затем кончики волоса обрызгивают перекисью водорода, отчего сернистый свинец переходит в белый сернокислый свинец, и таким образом получают белые кончики волос на сером фоне.

Крашение растительными красителями. Из растительных красителей применяют главн. обр. кампеш, чернильные орешки и куркуму, затем сумах, кашу́ (катеху), экстракты красного и желтого дерева. Кампешем красят в черный и серо-голубой цвет. куркуму употребляют для желтой подцветки при крашении кампешем в черный цвет; чернильными орешками красят в черный и голубой цвета. Кампеш является до сих пор единственным красителем, которым красят меха в черный цвет окуночным методом. Кампеш поступает в продажу в виде экстрактов, жидких и твердых; из последних лучший — гематин (порошкообразный), содержащий красящего вещества в 6—7 раз более, чем древесина (см. *Красящие вещества* естественные). В качестве фальсифицирующих примесей в экстрактах встречаются глауберова соль, хлористый натрий, песок, щелочи, меласса, крахмал и дубильные вещества. Кампеш—протравной краситель и дает с протравами следующие окраски: с глиноземной—синюю, с хромовой—сине-черную, с железной—черную, с медной—зеленовато-синюю. Черный цвет получается при крашении большими концентрациями красителя; слабые концентрации дают голубой и синий цвета. Крашение в черный цвет представляет довольно сложную процедуру, т. к. из одной ванны при допустимой для мехов $t°$ крашения (при 35°) черного цвета получить не удается. Различают крашение от природы черного товара и крашение белого и пестрого товара. В первом случае только углубляют натуральную окраску волоса и добиваются получения «голубой» мездры, требуемой рынком. Во втором случае волосу дают полную черную окраску. Первый способ носит название «каракулевого хода», потому что он гл. обр. применяется для крашения черного каракуля.

Схема крашения по этому способу: 1) обезжиривание шкур в глухом барабане с сухими опилками; 2) протряхивание в решетчатом барабане; 3) крашение в растворе с переборками при $t°$ 35° (состав раствора: кампешевый экстракт 250 *г*, железный купорос 150 *г*, медный купорос 29 *г*, хромовые квасцы 7 *г*, глауберова соль 12 *г*, поваренная соль 16 *г*, таннин белый 20 *г* и вода 12 *л*); 4) окисление шкур в стойках или развешанными на шестах; 5) промывка холодной водой, отжим, мягчение мездры мягчильными составами; 6) сушка; 7) откатка в глухом барабане с сухими дубовыми опилками; 8) протряхивание в решетчатом барабане; 9) разбивка мездры на скобе; 10) чистка в глухом барабане с сухими дубовыми опилками; 11) протряхивание в решетчатом барабане; 12) вторичная разбивка на скобе с затяжкой в ширину; 13) протряхивание в решетчатом барабане; 14) правка. Крашение мехов с белой и пестрой окраской волоса производится иначе, а именно: 1) окуночное уморение едким натром 1—1½° Bé; 2) протравление (25 *г* железного купороса, 12 *г* нашатыря, 15 *г* поваренной соли на 1 *л* воды); 3) первая окраска—т. н. грунт (30 *г* кампеша, 15 *г* куркумы на 1 *л* воды $t°$ 35°; время крашения—8 ч.); 4) вторая окраска (в старую красильную ванну добавляют 10 *г* кампешевого раствора, 5 *г* куркумы, 12 *г* медного купороса и 33 *г* железного настоя на 1 *л* воды). Меха погружают на 8 ч., после чего отжимают, развешивают для окисления и снова погружают в подогретую до 35° ванну на 6 час.; затем следует промывка, мягчение мездры раствором поваренной соли с глицерином (100 *г* поваренной соли, 150 *г* глицерина на 1 *л* воды), сушка и обычная отделка.

Крашение синтетич. органич. красителями. Красители, применяемые в М. п., принадлежат к группе хинонимидных красителей. Простейший из них, *n*-фенилендиамин, продаваемый под названием урсол D или «меховая черная DC» (последняя представляет собой сульфат *n*-фенилендиамина), красит без протравы в темно-коричневый, с протравой—в черный цвет. При окислении *n*-фенилендиамина перекисью водорода в качестве промежуточного продукта получается хинондиамин HN=⟨⟩=NH, к-рый действует раздражающе на слизистую оболочку горла работающих с ним и может вызвать даже астму. Парафенилендиамин легко растворим в воде; сульфат его хуже растворим, почему при употреблении марки DC необходимо добавлять аммиак. Другой распространенный меховой краситель—*n*-амидофенол, продаваемый в виде хлоргидрата основания под названием «меховой А» или «урсол Р». Получается из фенола через нитрозофенол восстановлением последнего сернистым натрием. Хлоргидрат *n*-амидофенола хорошо растворим в воде, основание — хуже: *n*-амидофенол дает с хлорной известью фиолетовое окрашивание, переходящее при встряхивании в зеленое. При окислении перекисью водорода дает коричневую окраску серых и красноватых оттенков. *o*-Амидофенол, получаемый также из фенола, известен под названием «урсол 2G» и применяется для крашения в желтый цвет.

Всего меховых красителей существует ~40. В колористическом отношении они делятся на черные, ко-

ричневые, серые, желтые, оранжевые и оливковые. Такой сравнительно ограниченный сортимент окрасок объясняется специфическими требованиями к меховому товару, окрашиваемому преимущественно в черный, коричневый и серый цвета. Особенности окислительных меховых красителей, отличающие их от других групп, заключаются в следующем: 1) способность красить при низкой температуре (~30°) в присутствии окислители; 2) сравнительно легкая изменяемость окраски (б. ч. появление красных оттенков) под действием воздуха и света; 3) способность некоторых из них сублимироваться; 4) изменяемость цвета окраски в зависимости от степени окисления, регулируемой или количеством окислителя или временем крашения; так, NaKoRH (одна из немецких марок) при концентрации 2 *г* красителей и 40 *см*³ 3%-ной перекиси водорода на 1 *л* воды при 30° дает окраски от серо-синей до темно-коричневой с красноватым оттенком на протяжении 12 ч крашения; при повышении *t*° в ванны окисление идет быстрее и период изменения окраски укорачивается; 5) с протравами они дают более интенсивные окраски, причем каждая протрава дает другой оттенок и даже цвет, часто резко отличающийся от цвета, полученного непосредственным крашением; 6) химич. характер красильного раствора (кислотность, щелочность) влияет на оттенки, а иногда и на цвет окраски; 7) окраски на протравах более прочны, чем полученные непосредственным крашением. Окислительными красителями преимущественно красят в коричневые и серые цвета разнообразных оттенков. В черный цвет красят или кампешем или черным анилином, вследствие непрочности и недостаточной красоты черной окраски, получаемой при крашении окислительными красителями. В светлые цвета красят без протрав, в темные—на протравах. Употребляемые протравы те же, что и для растительного крашения,—преимущественно железный купорос, железный настой, медный купорос, хромпик, алюминиевые квасцы. Окислительные красители б. ч. употребляют для крашения в виде смеси из двух, трех и больше марок. Употребляемые концентрации колеблются от 0,1 до 10 *г/л* воды. Температура красильной ванны 30—35°. Время крашения для светлых цветов 2—3 ч., для темных 12—24 ч. Перекись водорода при окупочном крашении добавляется примерно в 10-кратном количестве от веса красителей, при намазном—в 20-кратном. Крашение ведут в нейтральной или слабощелочной ванне; в последней оно идет интенсивнее. В качестве щелочи обычно добавляют аммиак; щелочь, с одной стороны, способствует окислительному процессу, ускоряя разложение перекиси водорода, с другой—освобождает основания из красителей, применяемых в виде солей. Окупочное крашение ведут или в чанах или в барках*ах с вращающимися лопастями, приводящими в дви*жение красильный раствор вместе с товаром (в последнее время пробуют красить в барабанах). Намазное крашение проводят щетками.

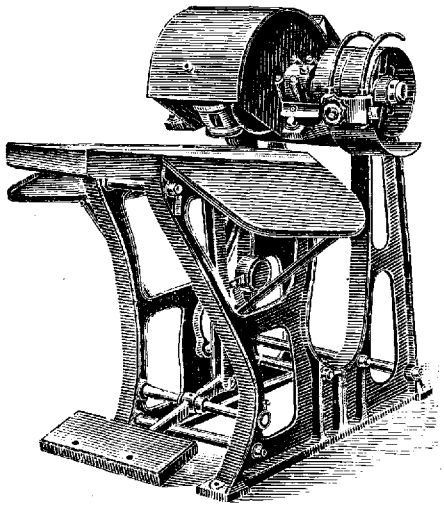
Крашение черным анилином вследствие его высокой кислотности применяется исключительно для намазного крашения верхушек волоса, хотя и существуют патенты на крашение черным анилином погружением. Один из патентов основывается на защите кожи от действия к-ты введением в ванну поварённой соли (получается своеобразный пикель). Для образования черного анилина необходимо совместное присутствие в красильной ванне анилина к-ты, окислителя и катализатора. Соответственно способу образования черного анилина последний получается с разными оттенками и разными физич. свойствами. Из способов приготовления черного анилина для мехового крашения представляют интерес: 1) однованный черный и 2) окислительный черный. Первый представляет собою окисление анилина хромпиком в кислой среде; волос, окрашенный им, груб наощупь и пачкает при трении. В меховом крашении образование однованного черного возможно во время хромирования после последней намазки черноанилиновым раствором. Окислительный черный получают при окислении анилина в кислой среде хлорноватокислыми солями в присутствии катализаторов (ванадиевокислый аммоний, медный купорос). Для уменьшения вредного влияния анилинового раствора на волокно рекомендуется добавлять уксуснокислый глинозем; действие последнего основывается на легком связывании соляной к-ты. Для окислительного черного, обычно применяемого в крашении мехов, чаще всего пользуются анилиновой солью; последняя д. б. возможно бела, т. е. не слишком сильно окислена, для того чтобы окраска получалась красивая и прочная к трению. Вызревание применяется при вылеживании товара и в сушилках при показаниях психрометра: *t*° сухого термометра 30°, влажного 25°. В смысле ускорения процесса крашения, т. е. уменьшения числа намазок, лучшие результаты получаются с применением ванадиевых солей в качестве катализаторов. Существует ряд других, менее употребительных способов образования черного анилина. Главнейший из них—способ Прюдома, основанный на применении желтой кровяной соли, добавляемой в окислительный анилиновый раствор. Крашение волоса черным анилином встречает затруднения в основном характере кератина. Для нейтрализации восстанавливающих свойств кератина, препятствующих окислительным процессам крашения, предложен целый ряд предварительных обработок шерсти, сводящихся к окислению ее различными окислителями, как то: хромпиком, перманганатом, хлорной известью. По последним наблюдениям лучшие результаты дает подготовка перекисью водорода (Н. В. Булгаков).

Наиболее обширное применение черный анилин находит в крашении «под котик». Метод крашения под котик заключается в следующем. Приготовляются два раствора: один на холоду из анилиновой соли (70 *г* на 500 *см*³ воды), другой при нагревании, содержащий на 500 *см*³ воды 30 *г* хлорноватокислого натрия (или калия), 20 *г* нашатыря, 15 *г* медного купороса и 0,01 *г* ванадиевокислого аммония. Охладив растворы до темп-ры 15°, сливают вместе и полученной смесью красят, нанося ее на поверхность волосяного покрова меха щеткой. При этом следят, чтобы раствор не проникал в кожу, так как он действует на нее разрушающе. Окрашенные шкурки складывают в стопки волосом к волосу, выдерживают для вызревания черного анилина и сушат. Получается светло-зеленая окраска от образования эмеральдина. После сушки волос очищают от осевшей на его поверхности краски, откатывая шкурки в барабане. Затем повторяют крашение снова в том же порядке до 4 раз; при этом светлозеленая окраска постепенно переходит через темнозеленую в черную соответственно образованию промежуточного продукта окисления нигранилина и конечного—черного анилина. После того как образуется черная, слегка зеленоватая окраска, мех хромируется намазью щеткой раствором 25 *г* хромпика в 1 *л* теплой воды. Хромирование применяют для получения незеленеющего черного анилина. После этого следует сушка и крашение незакрашенных оснований волос (пуха) в требуемый рынком вишнево-красный или золотисто-желтый цвет. Крашение производится окислительными меховыми красителями обычным методом: дают

окуночное умерение слабым раствором кальцинированной соды (5 *г* на 1 *л* воды), промывают до нейтральной реакции, протравляют хромпиком (5 *г* на 1 *л*) с добавлением уксусной к-ты и красят «меховым черным DC» или «урсолом D» с аммиаком (для вишнево-красного цвета). После крашения меха производят промывку, мягчение и подкраску мездры в красный цвет, сушку и обычную отделку, отличающуюся только более длительной и внимательной откаткой в барабане с опилками с целью получения хорошего блеска на волосе.

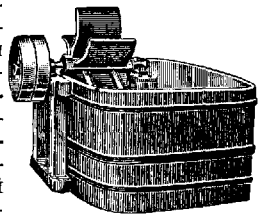
Крашение субстантивными, кислотными и основными красителями. Этот род крашения применяется исключительно для получения ярких цветов—красного, синего, зеленого и т. п. для декоративных целей, театральной бутафории, ковров, отделок для дамского платья. Перед крашением меха задубливают хромовым одновленным способом, чтобы иметь возможность красить при повышенной $t°$ (до 50°), и затем для получения ярких окрасок хлорируют волос раствором хлорной извести $^1/_8$—$^1/_4$° Bé. После обработки хлорной известью в течение 20 мин. обрабатывают слабой соляной к слотой в течение 10 мин., промывают и в заключение, для удаления остатков хлора, обрабатывают раствором гипосульфита. После такой предварительной обработки меха красят в растворе соответствующего красителя при $t° \sim 60°$.

Вспомогательные процессы при крашении мехов. Сушка мехов производится при 35° в тех же условиях, что и при выделке. Промывка производится б. ч. в промывном сетчатом барабане, вращающемся в деревянном или каменном бассейне, наполненном водой, со скоростью 9—10 об/м. Отжим осуществляется на центрифуге. Отволаживание производится опрыскиванием мехов с мездры водой, после чего они лежат в стопках, или же меха откатывают в глухом барабане с влажными опилками. Конструкция барабана такая же, как и в сырейном производстве. В таком же барабане производится отминка, или откатка, шкур с сухими дубовыми, буковыми, пальмовыми и другими твердых несмолистых пород опилками—для очистки волоса от поверхностно приставшей краски и для его полировки. Полировка волоса имеет существенное значение в крашении мехов, особенно при крашении под котик. Для разбивки применяются такие же скобы, как в сырейном производстве, а также разбивочные машины различной конструкции (фиг. 3). Правка имеет целью придание мехам формы, принятой в торговле, растягиванием их руками. Окуночное умерение, протравление и крашение производятся в овальных гашпилях с вращающимися лопастями (фиг. 4). Намазное крашение в крупных предприятиях производится в настоящее время машиной (фиг. 5), в которой намазка осуществляется круглыми вращающимися щетками. Производительность такой машины—до 8 000 шкур кошки за 8 ч. Она применяется в производстве мехов под котик. Для нежной поверхностной окраски широко практикуется применение шприц-аппаратов. Наиболее механизированным является производство мехов под котик. При окраске под котик шкуры кролика, кошки, собаки и других подходящих видов сырья

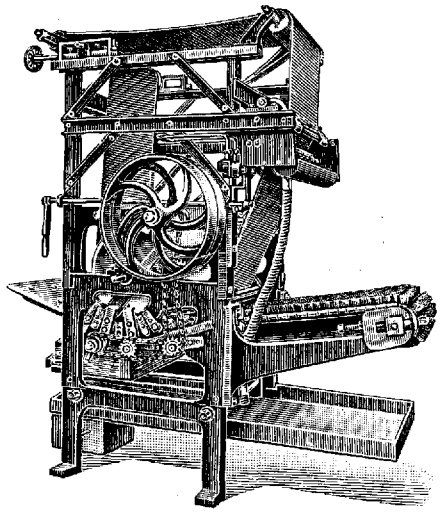


Фиг. 3.

прежде всего подвергаются стрижке волоса на высоту 15—16 *мм*. Стрижка производится на стригальной машине (фиг. 6), состоящей из режущего приспособления, транспортера, подающего шкуры к режущему приспособлению *C* и *D*, и эксгаустера *E*, удаляющего по каналам состриженный волос. Ранее перед стрижкой шкуру *B* прикалывали булавками к транспортному полотну *A*; в последнее время нем. фирмами выпущены приспособления, позволяющие обходиться без прикалывания. На фиг. 7 дана стригальная машина с присасыванием шкурок к транспортному полотну воздухом. После стрижки и окраски у грубоостистых мехов

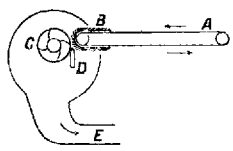


Фиг. 4.



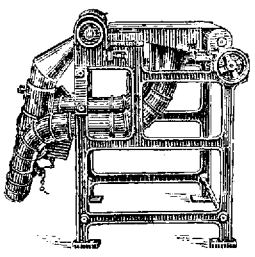
Фиг. 5.

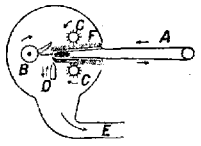
ость выщипывается. Для этого применяется щипальная машина (фиг. 8), имеющая два ножа: один вертикальный плоский *D*, а другой слегка загнутый и укрепленный на боковой поверхности вращающегося вала *B*. При пуске машины оба ножа встречаются лезвиями около пластинки, которую огибает шкура *F*, наколотая на транспортерное полотно *A*. При огибании пластинки шкуры встречаются с вращающимися круглыми щетинными щетками *C*, которые приглаживают волос в



Фиг. 6.

противоположные стороны, вследствие чего и образуется пробор. В этом проборе ость, не задерживаемая щетками вследствие ее упругости, торчит в виде частокола и подрезается ножами на необходимую высоту. Труба *E* служит для отсоса выщипанного волоса. Существуют также машины и другой конструкции. Для расчесывания волоса после намазок черным анилином употребляют чесальные машины, действующая часть которых—валы, обтянутые кардной лентой или набитые щетиной. Для выколачивания мехов применяют разнообразных конструкций к о л о т и л ь н ы е м а ш и н ы. На схеме (фиг. 9) детали машины обозначены: *A*—подушка, *B* — мех, *C* — вал с ременными жгутами и *D* — труба для отсоса пыли. Наиболее употребительной является машина, в которой

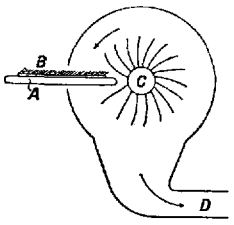

Фиг. 7.



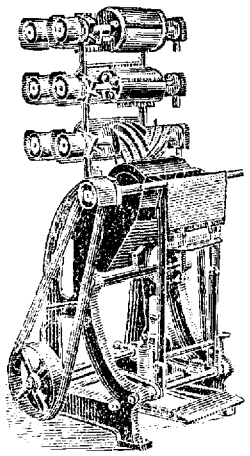
Фиг. 8.

меха выколачиваются ременными круглыми жгутами, укрепленными на вращающемся валу. При движении вала ремни бьют по подушке, на которую кладется мех. Пыль удаляется эксгаустером в приемник. На фиг. 10 дана универсальная машина, применяемая в М. п. для обработки мехов, выполняющая различные отделочные операции, а на фиг. 11—машина для разглаживания волоса и полировки его.

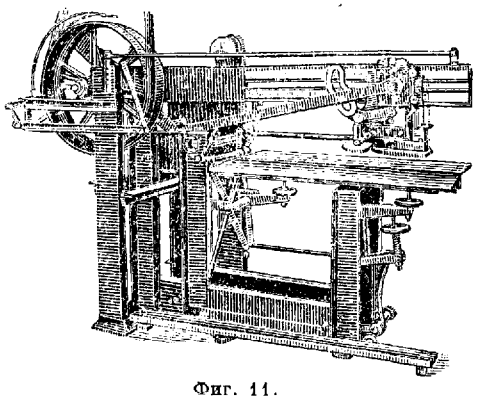
Б е л е н и е м е х о в представляет собой частный случай М. п., когда встречается необходимость в уничтожении желтых оттенков в белых от природы мехах или в уничтожении природн. окраски мехов с целью крашения их в светлые цвета. В отбелку из белых товаров поступает три вида меха: горностай, белый песец и белый медведь. Методы беления делятся на 2 группы: 1) о к и с л и т е л ь н ы е и 2) в о с с т а н о в и т е л ь н ы е. Первые основаны на применении окислительных химич. веществ (перекись водорода, перекись натрия, перборат натрия, марганцовокислый калий). Восстановительные методы основаны на применении восстановительных химич. средств (бисульфит натрия, сернистый газ, гидросульфит натрия в порошке, бланкит—гидросульфит фирмы BASF). Окислительные методы дают более прочную бель, нежели восстановительные. Наилучшие результаты получаются при комбинированном применении окислителей и восстановителей. Из окислителей лучшим средством является перборат натрия — $NaBO_3 \cdot 4\,H_2O$, затем перекись водорода. От способа беления требуется, чтобы, давая белизну волосу,



Фиг. 9.


Фиг. 10.

он в то же время не ухудшал качеств последнего, т. е. не отражался на его блеске, форме, упругости и скользкости. Между тем употребительные способы беления при сильной отбелке разрушающе действуют на волос, деформируя его поверхность. Поэтому в практике беление ведут очень осторожно—при слабых концентрациях растворов и при невысокой $t°$. Примерные рецепты окислительного беления: 1) обезжиренные слабой щелочью и промытые шкурки погружают в раствор 500 *см*³ 3%-ной перекиси водорода, 500 *см*³ воды и 1 *см*³ технич. аммиака (25%-го)


Фиг. 11.

на сутки при 30°; затем промывают и сушат; 2) погружают обезжиренные и промытые шкурки в раствор 5 *г* марганцовокислого калия в 1 *л* воды на 4—6 ч. при 30°; вынимают, отжимают и погружают в раствор бисульфита (20 *см*³ бисульфита 38° Bé на 1 *л* воды), после чего промывают. Реакции идут по следующим уравнениям:

$$2Na_2O_2 + 2H_2SO_4 = 2Na_2SO_4 + 2H_2O_2 = 2Na_2SO_4 + 2H_2O + O_2,$$

$$4NaBO_3 + 8H_2O = 4H_2O_2 + 4NaH_2BO_3 = 4H_2O_2 + Na_2B_4O_7 + 2NaOH + 3H_2O.$$

При белении восстановительными методами поступают сл. обр. При белении сернистым газом обезжиренные и промытые шкурки во влажном виде развешивают в камере на

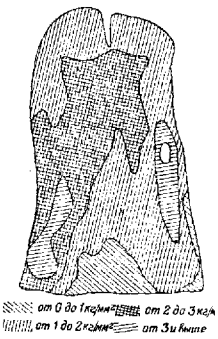
шестах. Зажигают серу и закрывают камеру. На другой день камеру вентилируют, снимают шкуры, промывают в воде и сушат. Беление бисульфитом натрия: погружают на сутки шкуры в раствор 20 *см*³ бисульфита натрия 38° Bé в 1 *л* воды с добавлением 5 *см*³ крепкой соляной к-ты, после чего промывают. Беление гидросульфитом натрия: погружают шкуры на сутки при 30° в раствор, составленный из 10 *г* гидросульфита натрия, 5 *г* фосфорнокислого натрия, 3 *г* кальцинированной соды и 1 *л* воды, после чего промывают. Благотворное действие при белении оказывают солнечные лучи. На их действии основано луговое беление.

Товарные свойства мехов и их исследование. Свойствами мехов, определяющими их товарную ценность, являются: прочность волосяного покрова и кожи, тягучесть, теплопроводность, воздухопроницаемость и промокаемость кожи, вес единицы площади и размер шкуры, густота опушения и длина ости и пуха в разных частях шкуры, цветность и прочность окраски к свету, трению и хранению, прочность волосяного покрова к свойлачиванию.

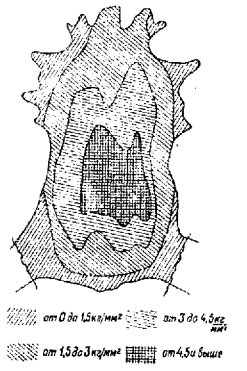
Под прочностью волосяного покрова понимается прочность связи волоса с кожей и прочность самого волоса на излом; первая зависит от того, насколько прочно сидит волосяная луковица в сумке. Существует природная прочность, зависящая от видовых свойств зверя, например мех неблюя (молодого оленя) почти всегда обладает «теклым» волосом, который лезет при незначительном об него трении, напротив, волос выдры сидит в мездре чрезвычайно прочно. В различные сезоны года у животного прочность связи волоса с кожей также различна; максимума она достигает обычно зимой к концу осенней линьки, а минимума весной, когда идет смена зимнего волоса на летний. В выделанных и окрашенных мехах эта прочность уменьшается или увеличивается. Уменьшается она: 1) от хранения мехового сырья в теплом и влажном помещении, вследствие развивающихся в коже процессов гниения, 2) от слишком медленной сушки при консервировании и 3) в производстве, от слишком сильного разрыхления дермы во время процесса квашения при выделке, от слишком энергичного действия щелочей в процессе уморения при кращении. Увеличивается прочность: 1) после дубления хромовыми и алюминиевыми солями, растительными таннидами, формалином, 2) после обработки раствором поваренной соли и 3) после протравления металлич. солями. Прочность волоса на разрыв определяется динамометрами, изготовляемыми специально для этой цели. Прочность связи волоса с кожей м. б. определена с помощью прибора, в к-ром волос прочесывается цилиндрич. щеткой; сравнивая потерю волоса в разных мехах в одно и то же время, можно установить относительную прочность волосяного покрова. Теплопроводность мехов определяется в приборе, представляющем собой медный цилиндр, открытый с одной стороны и помещенный в сосуде. В цилиндр наливают воду $t°$ 45°, а на цилиндр надевают чулок, сшитый из меха, волосом наружу. Сверху цилиндр закрывают пробкой, через к-рую проходит термометр. В сосуд набивают лед, изолированный от меха проволочной медной сеткой. Сосуд внизу имеет кран, через к-рый спускается вода, образующаяся при таянии льда. На основании наблюдений падения темп-ры в цилиндре за определенные промежутки времени составляются кривые падения $t°$, характерные для данного вида мехов. Тепловые свойства мехов относительно друг друга могут быть выражены в виде функции скорости падения $t°$ при прочих равных условиях. Прочность кожи мехов на разрыв и удлинение ее в момент разрыва определяются методом, принятым в кожевенном производстве, т. е. разрывом ремней при определенной влажности на специальной машине. Удлинение, установленное при разрыве, может характеризовать тягучесть кожи мехов, или так называемую потяжку, при условии, если меха предварительно были растянуты одинаково по всей площади. В противном случае цифры получаются противоречивыми: жесткое нерастянутое место кажется более тягучим, чем мягкое, но растянутое. Работы в отношении исследования цветности, белизны и блеска (работы со ступенчатым фотометром) находятся еще в зачаточном состоянии. Прочность окрасок к свету, трению и хранению определяют обычными методами, принятыми в текстильном производстве. Размер шкур определяется планиметром. Химич. и механич. анализы мехов находятся в стадии предварительных опытов (работы Стандартной меховой комиссии при НТУ ВСНХ СССР под руководством автора данной статьи).

Методы анализа для большинства показателей в отношении кожи м. б. взяты из ВЕМ (Всес. единого метода исследований кожи); не подходит для мехов лишь анализ на промокаемость, вследствие чрезвычайно быстрого истечения жидкости. Данные по механич. и химич. анализам исследованных выделанных шкур приведены в табл. 4. Топография шкур представлена картограммами (фиг. 12, 13 и 14).

Овчинношубное производство. Овчинношубное производство перерабатывает шубные сорта грубошерстных овчин на различные наголь ные изделия, т. е. такие, в которых овчина носится мездрой наружу. Главнейшие изделия—пиджак, шуба со сборами и тулуп — разделяются на изделия красной дубки, пошиваемые из краснодубной овчины, и изделия черной дубки из черненой овчины. В нек-рых окр. Украины вырабатывают и носят изделия из беленой квашеной овчины. Особенно ценятся изделия черной дубки из романовской овчины, отличающиеся легкостью, теплотой, нежностью и красотой завитого волоса серо-голубой окраски. Методология производства шубных овчин в настоящее время переживает период коренной ломки, выражающейся в переходе от сложившихся веками кустарных форм к заводским процессам с разделением труда и применением механизации. Производство на лучших з-дах СССР распадается на следующие процессы. 1) Отмока—производится в бетонных чанах прямоугольной



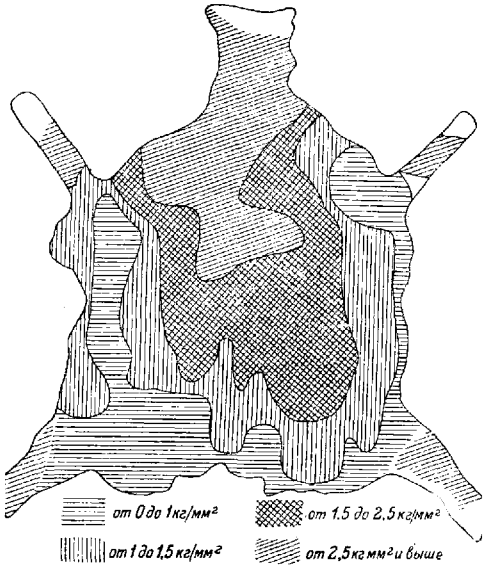
Фиг. 12.



Фиг. 13.

формы; продолжительность отмоки находится в зависимости от способа консервирования сырья: для мороженого—4 ч., мокросоленого—12 ч. и пресносухого—2 суток (в среднем). После отмоки следует промывка в латном барабане. 2) Мездрение—обычно производится вручную мездряком или косой на колоде. В последнее время на Барнаульском овчинношубном з-де успешно применена машина для мездрения типа Турнер № 205 У с ручным подмездриванием пашин и лап на колоде. 3) Квашение — производится хлебными киселями. Общеупотребительный метод — квашение в

чанах при $t°$ 35° в течение 5—6 суток с ежедневными переборками. На Барнаульском з-де впервые применено квашение в барабанах-гигантах, причем время квашения сократилось для пресносухой овчины до 2 суток, для мокросоленой до $1^1/_2$ суток. Барабаны вращаются (периодически по 10—15 мин.) в течение часа, со скоростью 4—5 об/м.



Фиг. 14.

В случае выделки овчины в чанах поступают различно, напр. так: половину потребного количества муки заваривают горячей водой (~ 80°), тщательно размешивают и выливают в чан, в к-ром находится старый кисель, добавляя полное потребное количество поваренной соли; на другой день погружается в чан другая половина муки, также заваренная горячей водой; после того как кисель приготовлен, берут обмездренные овчины, перегибают по хребту внутрь волосом, окунают в приготовленный кисель и укладывают овчину в другой чан или получан одну на другую пластами. По заполнении чана его заливают остатками киселя. Темп-ру киселя поддерживают ~ 35—43°. Наиболее высокая $t°$ допустима для пресносухой степной овчины, наиболее низкая для мороженой. Квашение продолжается 5—6 дней с 2—3 ежедневными переборками, при к-рых овчины выбирают из чана и после «прокупывания» в киселе складывают в обратном порядке в другой чан или получан. 4) О т ж и м. После квашения овчина отжимается от излишка киселя в центрифуге. 5) С у ш к а—производится в специальных сушилах при $t°$ 40°. Овчины вешают на шесты вдоль хребта с посадкой по ширине (овчину оттягивают вниз, собирая ее складками к голове), сначала бахтармой наружу, а затем волосом. Сушила для новых з-дов проектируют разного типа; удобны сушила камерного типа с вагонетками, на к-рые ставят рамы с набитыми на них с двух сторон овчинами. Вагонетки вдвигают в камеру с одного конца и выгружают с другого; т. о. процесс сушки идет непрерывно. В другом типе проектируемых сушил, проверенном в М. п., используются в качестве транспортера овчин внутри камеры цепи Галля, расположенные по бокам камеры, с шестами для завески овчин. Продолжительность сушки в камерных сушилах с побудительным обменом подогретого воздуха—10—14 ч. 6) О т в о л а ж и в а н и е—заключается в опрыскивании сухих овчин из пульверизатора водой или жидким киселем и выдерживании после этого в штабелях в течение суток. Овчины при этом размягчаются и становятся эластичными. 7) О т д е л к а н а б е л о—производится на разных з-дах различно. Старый метод состоит в обработке сначала крюком, представляющим собою железную пластинку с рукояткой и веревочной петлей, привязанной к нижнему концу крюка; затем следует подсушка в течение 1 ч., опять отминка крюком и в конце подчистка мездры острой косой на колоде или скребком в пялах и ческа волоса ческом. Новые методы основаны на применении машин. Здесь возможны различные варианты, например: разводка на разводной пятистольной машине для кожпроизводства, подсушка, отминка на тянульной машине типа Менус 333, строжка на машинах Безлепкина (Сибирь), выбивание пыли на колотильной машине и пушение бахтармы на машине типа Менус 3108. Другой вариант: откатка в барабане, отминка на тянульной машине типа Менус 333, подсушка, вторичная отминка на машине, пушение на машине типа Менус 3108. Наконец начали применять для отминки лопаточную машину Менус тип № 317, с предварительной откаткой овчин в барабане, и разбивочную машину (фиг. 4) системы Велинга, непосредственно после отволаживания овчин. Разбивочная машина с успехом применяется для разбивки жеребка и козлины. Отделку машин и лап производят на пушильных машинах № 130 сист. Турнера. 8) О б е з ж и р и в а н и е, примененное впервые в СССР (Барнаульский з-д), производят бензином в экстракционном аппарате Гольцерн-Гримма с 4 экстракторами. Производительность такого аппарата при непрерывной работе—4 200 овчин в сутки. Аппарат состоит из экстракторов, где извлекается из овчин жир бензином, дистиллятора для отгонки бензина от жира, бензиноуловителей и бака для чистого бензина. После обезжиривания овчины содержат в коже ~5% жира. Выход жира с овчины в среднем 180 г. Для обслуживания аппарата требуется лишь 3 рабочих. Старый метод обезжиривания, принятый еще на всех старых заводах, заключается в намазывании пасты из глины на бахтарму овчины, сушке в сушилах и сбивании глины палками. Эти процессы в зависимости от жирности овчин повторяются до 6 раз. Себестоимость обезжиривания по этому методу приблизительно в 4 раза выше, чем обезжиривание в экстракторах бензином. Обезжиривание глиной нерационально, так как это процесс длительный, грязный и сопряженный с потерей всего извлекаемого из овчин жира. Обезжиривание глиной производится не после отделки набело, а сейчас же после сушки квашеной овчины. Понятно, что обезжиривание сырья непосредственно после мездрения перед квашением техноло-

гически более целесообразно, но опыты с аппаратом Гольцерн-Гримма дали в этом случае плохие результаты. В случае обезжиривания бензином пушение бахтармы машиной производится после обезжиривания. Полученный товар называется белоквашеной овчиной и может быть употреблен в качестве подкладочного меха с покрытием снаружи тканью. Для нагольных изделий такая овчина непригодна, т. к. не выдерживает намачивания. Для этой цели овчина дубится или красится.

Красное дубление. Отделанная набело овчина дубится б. ч. ивовыми соками крепостью $^1/_2$—$1^1/_2°$ Bé. Ранее существовало три способа дубки: сыпной, сковый и намазной. В настоящее время повсеместно применяется только сковый метод. Это объясняется тем, что сыпной способ длителен (от 7 до 14 суток), а намазной дает незначительный продуб. Сковый способ позволяет получить продуб на $^3/_4$ толщины кожи и в то же время отнимает мало времени—до 3 суток в чанах и сутки в барабане. Дубление ведется свежими ивовыми соками при темп-ре 25—35° с добавлением поваренной соли для предотвращения образования пажора. При дублении в барабане последний, во избежание свойлачивания волоса, вращается периодически со скоростью 4—5 об/м. Преимущество барабана в том, что при нем исключаются переборки и ускоряется процесс дубления. После дубления овчины отжимают, сушат, отволаживают и отделывают так же, как и квашеную овчину. В табл. 4 приведены анализы овчин красного дубления.

Табл. 4.—Анализы овчин красного дубления разных заводов (в переводе на сухое вещество в %). (Щеголев.)

Характеристики	Заводы				
	Читинский	Омский	Барнаульский	Вятский	Семипалатинский
Влажность (действительная)	10,50	14,00	12,85	10,41	11,73
Зола	7,84	4,00	1,72	9,83	3,84
Жир	9,48	10,87	14,46	13,27	10,43
Общие вымываемые вещества	3,78	4,41	2,87	1,34	7,99
Гольевое вещество	72,61	75,04	69,99	65,73	65,21
Связанные дубящие вещества	6,19	5,68	10,96	9,83	12,53
Коэф. продуба	9	8	16	15	19

Щеголев предлагает принять следующие нормы для овчин красного сквозного дубления (в переводе на сухое вещество в %): воды $\geqslant 14$, золы $\geqslant 4$, жира $\geqslant 12$, общие вымываемые, органич. и неорганич., вещества 7, гольевое вещество 57—67, коэф-т продуба 34. Состав бараньей краснодубной кожи, по Шредеру (в переводе на сухое вещество): 2,28% золы, 7,52% жира, 8,58% органических вымываемых веществ, 10,58% азота, 61,89% гольевого вещества, 19,53% связанных дубящих веществ, коэф-т продуба 32.

Черное дубление овчин производится теплым раствором кампешевого экстракта на протраве из хромпика намазью со стороны бахтармы. Порядок дубления, точнее крашения, следующий. Овчина намазывается со стороны бахтармы раствором кампеша и сейчас же поливается раствором хромпика, в результате чего образуется на коже хромовый лак кампеша черного цвета. Овчине дают лежать 6 ч., а затем сушат. После сушки отволаживают, отминают крюком или на машине, подсушивают, вторично отминают, растягивают косой на колоде и вторично красят. После окраски дают лежать, промывают с поверхности бахтармы, оберегая от смачивания волос, сушат и отделывают так же, как и после первого крашения, сбрызгивая в заключение бахтарму деревянным или льняным маслом и надирая ворс жесткой щеткой. Масловка дается для оживления и утемнения окраски. В последнее время начинает входить в употребление более быстрый способ черного дубления, заключающийся в том, что овчины пропитывают со стороны бахтармы кампешем, дают лежать ~ 3 ч. для лучшего проникновения раствора в кожу, вторично пропитывают кампешевым раствором и обрабатывают хромпиком. После окраски следует промывка со стороны бахтармы, сушка и обычная отделка. Этот способ имеет значительные преимущества, т. к. получается большая экономия в площади сушил, количестве машин и времени обработки. Состав раствора: кампеша 40 *г*, хромпика 10 *г* на 1 *л* воды. Все попытки замены кампеша отечественными красителями, произведенные до сих пор, мало удовлетворительны, что объясняется высокими качествами кампеша как красителя. Большинство суррогатов, предлагаемых взамен кампеша, основывается на применении краски нигрозина, черной для валяной обуви, черной с добавкой желтых красителей для хромовой кожи в устранение синеватого оттенка в окраске. На отделанной овчине эти окраски выглядят пустыми и белесыми. В самое последнее время удалось получить хорошие результаты при крашении нигрозином, черной для хромовой кожи, а также другими черными анилиновыми красителями предварительно поддубленной ивовым соком овчины.

Хромовое дубление. Хромовое дубление представляет большой интерес для мехового и овчинношубного производства, главн. обр. вследствие высокой $t°$ (90—100°) сваривания хромовой кожи. Такой мех или овчину можно красить при темп-ре до 60°, что позволяет расширить ассортимент красителей для окраски волоса в светлые цвета и применить для овчинношубных изделий методы крашения хромовой кожи. Недостатком хромового дубления является нек-рое уменьшение площади мехов по сравнению с хлебным и пикельным способами обработки. Для М. п. представляет интерес только однованное хромовое дубление. Двухванный способ неприменим по причине загрязнения и загрубевания волоса от хромовых солей, весьма энергично усваиваемых волосом из первой ванны, содержащей хромовую кислоту. Окраска волоса при этом получается неприятного буро-зеленого цвета. Однованный способ, напротив, совершенно не отражается на волосяном покрове, так как соли окиси хрома шерстью и волосом почти не усваиваются. Это видно из табл. 5, показы-

вающей поглощение волосом и кожей Cr_2O_3 при дублении овчины различными методами (в % от веса кожи при 18% влаги).

Табл. 5.—Поглощение волосом и кожей Cr_2O_3 (в %).

Автор	Кожа	Шерсть
Двухванное дубление		
Шульц	2,19	2,90—3,20
Ламб	2,91	3,74—3,78
Эйтнер	2,16	2,95—3,29
Однованное дубление	1,55—3,85	0,12—0,16

При двухванном дублении волос поглощает Cr_2O_3 значительно больше, чем кожа; обратное соотношение имеется при однованном дублении. Однованное хромовое дубление может вестись в очень разнообразных комбинациях. В качестве типичного примера дубления, дающего хорошие результаты, можно привести следующий. 1) Отмока, промывка и мездрение, обычные для обрабатываемого вида сырья и консервировки. 2) Мягчение мягчителем МК (хим. з-да Всес. кожевенного синдиката) в гашпиле при $t°$ ванны 35° в продолжение 1—2 ч. Мягчителя берется 1,5% от веса обмездренной и обтекшей овчины. После мягчения шкуры промывают в свежей воде при $t°$ ~ 28°. 3) Пиклевание. Составы пикеля разнообразны. При расчете на литраж употребляют пикель состава: раствор поваренной соли 8°Bé с добавлением H_2SO_4 (9—10° Bé) и вода. При расчете от веса овчины можно употреблять пикель состава: 400% воды, 10% соли поваренной и 1% купоросного масла (H_2SO_4, 66° Bé). Время пиклевания—в чанах ~2 сут. при $t°$ 25°, в барабане с периодич. вращением —1—2 ч. Вопрос о режиме пиклевания является в настоящее время спорным, т. к. соотношения воды, соли и к-ты, принятые в кожевенном производстве, не м. б. механически перенесены в М. п. вследствие значительно бо́льших жидкостных коэфициентов в последнем (увеличение в 4—5 раз) и кроме того пикель в хромовом производстве играет несколько иную роль, выражающуюся, с одной стороны, в нейтрализации голья перед дублением, с другой—в создании кислой реакции в голье для регулирования поглощения хромовых соков. В М. п. пикель (кроме указанных моментов) играет также важную роль в смысле расщепителя кожной ткани и придает ей мягкость и тягучесть. В кожевенном производстве голье достаточно подготовляется в этом смысле во время волки, чего нет напр. в М. п. Поэтому вопрос о концентрации пикеля и времени пиклевания является пока открытым. 4) Хромирование производится хромовым экстрактом основностью ~32 с содержанием ~2% Cr_2O_3 от веса пиклеванных и обтекших овчин при добавлении к экстракту 3—8% поваренной соли во избежание нажора. Время дубления в барабане: 3 ч. при вращении и 12 ч. в неподвижном состоянии. Далее следуют: вылеживание на козлах до трех суток для лучшей фиксации хрома, промывка в воде при $t°$ 30°, нейтрализация бурой (2% от веса пиклеванных овчин), промывка в воде $t°$ 25°, обтекание или отжим, жировка жировой эмульсией (сульфированной ворванью или хромойлем) в количестве 1% от веса овчин и сушка. Высохшие овчины подвергают отделке, аналогичной с отделкой краснодубных овчин. Для придания хромовой овчине большей тягучести хромовое дубление комбинируют с обработкой алюминиевыми квасцами. Последние добавляют в пикель, или дают после пиклевания перед хромовой ванной ванну из алюминиевых квасцов (2—4%) и поваренной соли, или алюминиевые квасцы прибавляют прямо в хромовую ванну. Для придания коже замшевидности пробуют отлагать серу в кожной ткани, давая перед дублением гипосульфитную ванну (5%). Изложенный метод сокращает процесс дубления по сравнению с краснодубным с 20 до 10 суток. Овчина хромового однованного дубления имеет голубоватую окраску бахтармы. Последняя м. б. перекрыта крашением (дополнительно окрашена второй раз) в желто-красную под цвет натуральной краснодубной овчины или в черный цвет. Для крашения щетками под краснодубную рекомендуется краска кислотная коричневая 5G и коричневая для хромовой кожи G в количестве 1 *г* на *л* воды $t°$ 40—45°. Крашение в черный цвет производится кампешем с хромпиком, так же как и белоквашеной. Практич. применение в последнее время нашел другой метод хромового дубления — намазной (Вятский государствен. з-д). Этот метод заключается в том, что овчину, выквашенную и отделанную обычн. образом, смазывают со стороны бахтармы хромовым экстрактом 8° Bé, дают лежать 3 ч., вторично смазывают экстрактом 12° Bé, дают лежать ночь, жируют, сушат и отделывают как обычно (в этом методе отсутствует нейтрализация). В М. п. хромовое дубление играет пока только вспомогательную роль вследствие того, что: 1) тягучесть кожи в меховом деле играет несравненно бо́льшую роль, чем в овчинношубном производстве; 2) дубность кожи для мехов имеет второстепенное значение; 3) крашение мехов при низкой $t°$ удачно разрешается с помощью окислительных меховых красителей (урзолов). Все же хромовое дубление в крашении мехов используется в качестве поддубливания для повышения стойкости кожи к действию красительных растворов. От этого поддубливания зависит мягкость кожи в готовом товаре. Если поддубливание производят намазью, то комбинируют его со смягчением кожи. Чаще всего употребляется раствор поваренной соли с глицерином (обычный состав) с добавлением 5 *г* хромовых квасцов, 100 *г* поваренной соли и 150 *г* глицерина на 1 *л* воды. Только при крашении в «фантазийные» цвета субстантивными, кислотными и основными красителями дают полное продубливание мехам. Для этого можно рекомендовать тот же метод, что и для овчин.

Производство меховых щипаных овчин. Овчины курдючн. овец, т.н. степные, а иногда и кавказские, черкасские, русские зимней резки, обладают бо́льшим количеством пухового волоса. Выщипывая из таких овчин ость и оставляя один пух,

получают овчину, значительно облагороженную, которая после завивки, крашения или беления идет в продажу как меховой товар «для низов» под различные верхние теплые изделия. Производство меховой овчины во многом сходно с производством шубной овчины. Овчина выквашивается хлебным киселем и отделывается одинаково с шубной, только после отделки мездры следуют специальные операции: 1) выбивание волоса прутьями, 2) проческа волоса ческом, 3) отволаживание бахтармы теплой водой 30—35°, 4) щипка ости рукой, 5) сушка овчины при 40°, 6) вторичное отволаживание, 7) разминка крюком, 8) подсушка, 9) обработка в барабане с леквасом (обожженный гипс) и протряхивание, 10) подминка крюком кожи, 11) подчистка бахтармы косой, 12) выбивание волоса от пыли, 13) стрижка волоса ножницами, 14) расческа волоса щеткой из кардной ленты, 15) беление овчины в барабане с леквасом и протряхивание, 16) удаление остатков ости деревянным тупиком на колоде, 17) трепание волоса деревянной трепалкой для поливки волоса и для удаления остатков ости, 18) «вспрыскивание» водой волоса под завивку, 19) беление сернистым газом в камере, 20) сушка при 40°, 21) беление леквасом в барабане и протряхивание, 22) отминка крюком и 23) разбивка на колоде.

Лит.: Булгаков Н., Меховое производство, М., 1928; Нестлер К., Выделка и крашение мехов, пер. с нем., М., 1928; Кениг Ф., Выделка и крашение мехов за границей, пер. с нем., М., 1924; Петров П. П., Химическая технология волокнистых материалов животного происхождения, М., 1924; Егоркин Н. И., Крашение и отделка овчин и зверьковых шкур, 2 изд., М., 1925; Мейер Э. Ф., Кроличьи шкурки и их выделка на мех и кожу, М.—Л., 1929; Вильсон Д. А., Химия кожевен. производства, пер. с англ., Л.—М., 1927; Сташевский А. К., Выделка и крашение мехов, «Пушное дело», Москва, 1927—30; Церевитинов В. Ф., Опыт исследования влияния различных умерителей на структуру волоса песчаного суслика, там же, 1930, *1*; Щеголев В., Химический анализ овчин красного дубления, «Вестник кожевенной промышленности и торговли», М., 1928, *10*; Булгаков Н. В. и Сапегин Ф. В., Хромовое дубление шубных овчин по двухванному методу, там же, 1929, *5*; Хацети Б., Сдерихин Г., Разработка технологического процесса овчинношубного производства, там же, 1929, *6*; Моргулис А. и Цукерман Б., Хромовое дубление овчины, там же; Слепов В., К разработке технологич. процесса овчинношубного производства, там же, 1929, *9*; Заочные овчинномеховые курсы ВСНХ и Всекопромсоюза, Москва, 1929, 1930; Розенберг Л. М. и Розенбаум Н. Д., Санитарные условия труда в меховом производстве, М., 1924; Nestler K., Die Rauchwarenveredlung, Lpz., 1925; Handbuch f. d. gesamte Gerberei- u. Lederindustrie, hrsg. v. A. Wagner u. J. Paessler, Lpz., 1924; Beltzer Fr., Industries des poils et fourrures, cheveux et plumes, 2 éd., Paris, 1923; Austin W., Principles a. Practice of Fur Dressing a. Fur Dyeing, N. Y., 1922.

Н. Булгаков.

МЕХОВОЕ СЫРЬЕ, условный обобщающий термин для обозначения исходного шкурного материала, употребляемого в меховом деле для выделки готового фабриката (меха). В меховом деле различают два термина: собственно «меховое сырье» и «пушнину». К М. с. относят: группу шкур, получаемых от домашних животных или от животных, в разведении к-рых человек принимает непосредственное участие; сюда относятся каракуль, смушка, козлина пуховая, жеребок, мерлушка азиатская и русская, овчина пуховая, неблюй (шкура годовалого оленя), собака, кошка. Термином «пушнина» называют шкуры диких животных.

Количество штук добытой в СССР пушнины и М. с. за последние 5 лет представлено следующей таблицей.

Заготовка пушнины и М. с. в СССР за 5 лет (в шт.).

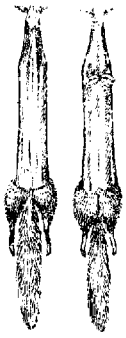
Вид М. с. \ Годы	1923/24	1924/25	1925/26	1926/27	1927/28
Пушнина					
Барсук	42 690	62 108	60 193	97 999	58 291
Белка	15 370 700	14 875 900	11 366 100	10 623 048	13 216 527
Бурундук	105 407	306 018	455 908	295 905	901 864
Волк	24 890	21 680	21 865	18 152	25 968
Выдра	3 785	4 286	5 675	8 554	8 151
Горностай	531 600	716 700	645 000	613 541	930 201
Заяц	2 368 830	2 312 300	4 570 050	8 236 870	10 582 970
Куница	66 685	56 105	57 800	39 854	47 277
Колонок	219 318	241 500	310 300	248 727	302 529
Корсак	136 686	95 017	74 635	24 567	8 948
Крот	—	1 575	10 170	214 377	1 902 477
Лисица	398 470	407 000	406 000	444 515	383 695
Ласка	32 107	30 684	43 900	30 444	178 846
Медведь	2 588	3 016	2 505	2 228	1 903
Норка	38 893	76 800	49 600	53 512	66 739
Песец	70 360	63 200	66 700	93 552	81 405
Суслик и песчаник	650 607	5 100 000	6 000 000	6 434 537	5 484 292
Сурок	585 099	622 000	734 000	759 129	644 691
Соболь	18 790	20 300	12 400	11 461	10 554
Рысь	3 905	3 001	3 675	2 570	5 362
Россомаха	1 675	1 012	1 755	1 363	1 387
Хорь	865 640	854 100	1 015 000	1 132 346	1 339 507
Шакал	8 812	14 013	10 155	10 793	11 360
Хомяк	—	—	—	603 183	3 392 395
Меховое сырье					
Каракуль	—	—	531 000	890 000	1 270 000
Смушка	—	—	32 000	179 000	520 000
Козлина пуховая	—	185 000	200 000	245 000	307 000
Жеребок	—	40 000	226 000	341 000	405 000
Мерлушка азиатская	—	188 000	463 000	831 000	641 000
» русская	—	—	—	—	1 740 000
Овчина пуховая	—	—	—	35 000	49 000
Неблюй	—	10 000	—	18 000	11 000
Собака	—	—	—	1 274 000	2 788 000
Кошка	—	—	—	—	1 740 000

Пушнина и М. с. составляют значительную часть нашего экспорта; размеры его по реализационным ценам видны из следующих цифр (в руб.):

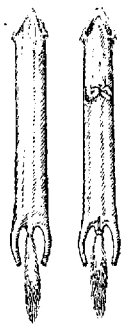
1923/24 г.	1924/25 г.	1925/26 г.	1926/27 г.
51 359 057	64 234 574	67 534 253	86 969 775

Удельный вес пушнины в общем экспорте СССР значительно поднялся по сравнению с довоенным временем (до 1914 г.)—с 1,9% в 1913 г. до 15,5% в 1927/28 г. Около 50% всей экспортируемой пушнины направляется в Германию, остальная часть в Америку, Англию и Францию. По данным за 1927—1928 годы было экспортировано из заготовленной в плановом порядке пушнины около 87%, на внутренний же рынок поступило всего 13%. Стоимость сырья, которое переработано союзной промышленностью в 1928/29 году, по заготовительным ценам составляет около 30 млн. руб.

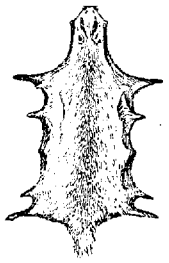
Первичная обработка пушнины и М. с. состоит из съемки шкур, обезжиривания, правки и сушки. 1) Съемка шкур производится сейчас же после убоя несколькими способами: а) чулком с огузка, б) чулком с головы, в) пластом, или ковром. Съемка чулком с огузка (фиг. 1) заключается в том, что шкуру, надрезанную вдоль задних ног до заднего прохода, выворачивают подобно чулку по направлению к голове; шкуры, снятые таким образом, имеют открытый огузок, позволяющий видеть качество волосяного покрова. Съемка чулком с головы (фиг. 2) отличается от предыдущей тем, что первоначальный надрез делают вокруг рта по губам и шкуру выворачивают по направлению к огузку; шкура, снятая т. о., получается закрытая со всех сторон. При съемке пластом (фиг. 3) разрез делают, начиная от нижней челюсти,



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

по горлу и далее по брюху до заднего прохода; затем по внутренней стороне разрезают передние и задние лапы и шкуру отдирают от мяса. Рекомендуется снимать пластом шкуры медведя, неблюя, сурка, тарбагана, суслика, тюленя, нерпы, крота, крысы водяной, барсука, барса, тигра, морского котика; чулком с головы—шкуры горностая, колонка и ласки; остальные шкуры снимаются чулком с огузка.

2) Обезжиривание шкур производится сейчас же после съемки, во избежание образования в дальнейшем порока, т. н. гари, выражающейся в «ороговении» кожи, лежащей под жировым слоем, т. е. в превращении кожи в твердый клей. Жир удаляют соскабливанием ножом, для чего шкурку надевают на правилку; шкуры крупных зверей с толстой кожей обезжиривают на деревянной колоде тупой косой.

3) Правка производится сейчас же после обезжиривания и заключается в том, что шкурку надевают на правилку соответствующей формы (в случае съемки чулком) или набивают на раму (если шкура снята пластом). При этом тщательно расправляют все складки и «посаживают» шкуру, чтобы придать как форму, так и подходящий в длину и ширину размер: не слишком вытянуть в длину и не слишком распялить в ширину. Фасоны правилок разнообразны; самая простая и наиболее употребительная правилка представляет собой доску или дощечку, широкую на одном конце и суживающуюся на другом. Для удобства надевания и снимания шкур правилки делают иногда из двух половинок с клином в середине.

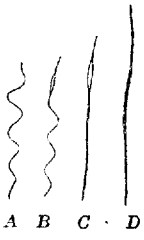
4) Сушка. Оправленные и посаженные шкурки сушатся. От того, как проведена сушка, в высокой степени зависит в будущем качество меха. При слишком быстрой и горячей сушке шкура пересыхает и после выделки не имеет необходимой мягкости и тягучести. Кроме того в этом случае может получиться гарь. Горелое место шкурки после выделки получается хрупким. В случае медленной сушки, в особенности при $t°$ близкой к 36°, развивается процесс гниения, и образуется т. н. прель. Места, пораженные этим пороком, характеризуются дряблостью строения и при малейшем усилии разрываются. Рациональная сушка должна производиться в тени при $t°$ около 30—35°. Другие способы консервирования применяются редко, лишь для тюленя, нерпы и морского котика, заготовляемых в мокросоленом виде.

Хранят пушнину и М. с. в прохладных складах в корзинах, на полках, в пачках, в штабелях, сложенными на подтоварниках или подвешенными к потолку. Злейшим врагом пушнины является моль. Профилактич. средством борьбы с молью является нафталин и другие пахучие вещества, напр. махорка. Эти средства действительны лишь в том случае, когда меха не заражены яичками и личинками моли. В противном случае должны применяться другие меры борьбы; простейшими из них являются выколачивание и вычесывание яичек и личинок моли вручную гибкими палками и колотильными машинами. Наиболее рациональное средство борьбы, доступное для крупных складов,—хранение мехов в холодильнике, в к-ром достаточно поддерживать $t°$ ок. −1°, чтобы личинки и яички моли погибли.

Строение шкуры. Качества шкуры в разных ее частях неодинаковы. Для большинства мехов лучшей является хребтовая часть, начиная от загривка вдоль средней линии спинки по обе стороны до черева. Но в нек-рых видах пушнины черево, брюшко, представляет самостоятельную ценность и, будучи отделено от спинки, используется после обработки в качестве самостоятельного меха. Так например, используется черево зайца-беляка, окрашиваемое под голубого песца отдельно от спинки. Основные части пушных шкур следующие: спинка, или хребетик, черево, огузок (нижняя часть спинки), загривок (верхняя часть шеи), лобик, душка, горло, передние и задние лапы, хвост. Все части меха могут быть использованы. Например из отдельных частей белки делают хребтовые, черевьи, бедерчатые, грудковые, загривчатые, лобковые и огузчатые меха.

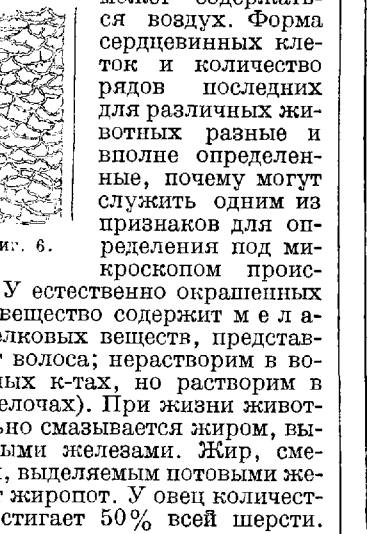
Волосяной покров (строение кожи и волоса см. *Кожевенное сырье*) пушных шкур состоит из 4 видов волос (фиг. 4): направляющих (*D*), остевых (*C*), пуховых (*A*) и промежуточных (*B*) между остевыми и пуховыми волосами. Главнейшие из них, составляющие основную массу волос и меха,—остевые и пуховые, различающиеся тем, что первые толще, грубее, длиннее и ярче окрашены. Пуховые волосы—короткие, нежные

наощупь и более густо расположенные по сравнению с остью. Направляющие волосы те же остевые, но более грубые, щетинистого характера, более длинные, расположенные в виде одиночных волос среди остевых и пуховых. Волосы на шкурке расположены группами. Глубина залегания корней остевых и пуховых волос в шкуре неодинакова: корни ости сидят глубже. Поэтому при повреждении нижнего слоя кожи прежде всего подрезаются корни ости, и волос «течет», т. е. легко выпадает даже при встряхивании. Шкуры с таким пороком называются с к в о з н я к а м и. Мездра их имеет рябой вид, подобно шкурке птицы.

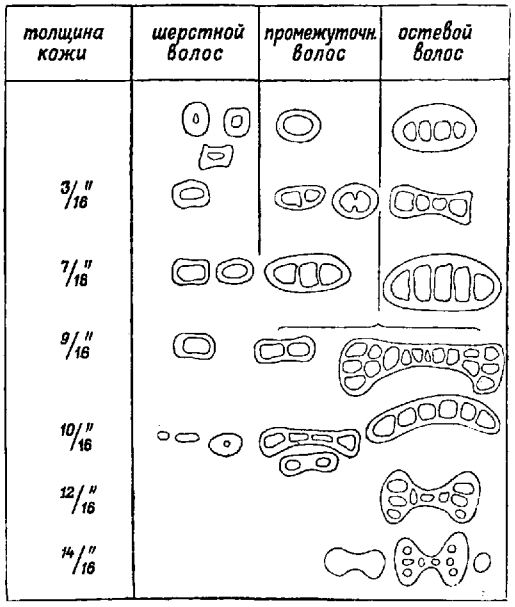


Фиг. 4.

От прочности связи луковицы *волоса* (см.) с сумкой зависит прочность связи волоса с кожей. Т. к. луковица представляет часть мальпигиева слоя эпидермиса, наиболее уязвимого при различных обработках шкуры, то отделение кератиновых частей, из которых состоит волос и эпидермис, от коллагеновых (кожи) прежде всего начинается в мальпигиевом слое и сопровождается отслаиванием эпидермиса от дермы и вылезанием волос прядями. Между клетками сердцевинного канала волоса может содержаться воздух. Форма сердцевинных клеток и количество рядов последних для различных животных разные и вполне определенные, почему могут служить одним из признаков для определения под микроскопом происхождения меха. У естественно окрашенных мехов корковое вещество содержит м е л а н и н (группа белковых веществ, представляющая пигмент волоса; нерастворим в воде и разбавленных к-тах, но растворим в разбавленных щелочах). При жизни животного волос обильно смазывается жиром, выделяемым сальными железами. Жир, смешиваясь с потом, выделяемым потовыми железами, образует жиропот. У овец количество жиропота достигает 50% всей шерсти. Форма и толщина волос у разных животных неодинакова. На фиг. 5 дано строение волоса зайца (сердцевина в средней части ости), на фиг. 6—строение волоса козы (сердцевина в средней части волоса) и на фиг. 7—формы сечения волоса исполинского кролика. В поперечном сечении волос м. б. круглым, овальным, сплющенным. Толстый волос имеет широкие волосяные сумки и потому ослабляет шкуру. Волос сидит в шкуре не прямо, а с наклоном верхушки к огузку; конец волоса обычно лишен сердцевинного канала и имеет вид сплошного наконечника. Кутикула на поверхности образует часто шипики и различных форм чешуйки. С видом и расположением чешуек связана способность волоса к свойлачиванию, блеск и бóльшая или меньшая легкость, с к-рой волос может вбирать воду и красящее вещество при обработке растворами. Сердцевинный канал присутствует обычно в грубых и прямых волосах, в тонких пуховых волосах его не бывает. Главнейшие физико-химич. свойства волоса следующие. Он медленно растворяется в разбавленных растворах к-т и щелочей. В крепких щелочах растворяется раньше, чем коллагены и эластины кожи затронутся в значительной степени. В воде не набухает и при кипячении не дает клея, в противоположность коже. При горении волос выделяет характерный запах жженого рога; от растительных волокон отличается своим отношением к кислотам и щелочам, а именно: к-ты значительно сильнее действуют на растительные волокна, а щелочи значительно сильнее на волос. При кипячении волоса в растворе едкого натра в присутствии свинцовой соли образуется черный осадок сернистого свинца. Волос способен поглощать кислоту и прочно ее удерживать. Конц. азотная к-та окрашивает волос в желтый цвет. Хлор сильно действует на волос, от чего последний желтеет, теряет способность свойлачиваться, наощупь кажется твердым и напоминает шелк тем, что


Фиг. 5.

Фиг. 6.



Фиг. 7.

скрипит при сжимании. Обработанный хлором волос красится гораздо легче. Волос гигроскопичен; вполне высушенный, становится ломким. При 100° волос делается пластичным и легко принимает различную форму, чем пользуются для тиснения на нем различных рисунков. При 110° он начинает изменяться, а при 130° сгорает. От действия сернистой к-ты и нек-рых окислителей (перекиси водорода, пербората натрия, озона, перманганата) окрашенные меланины волоса переходят в бесцветные вещества.

Сортировка и оценка М. с. Качества М. с. и пушнины зависят от целого ряда причин: 1) от места происхождения животного, 2) от

степени спелости волосяного покрова, 3) от цвета и оттенка волос, 4) от размера шкур, 5) от различных дефектов, пороков или других особо выделяющихся признаков. Место происхождения сильно влияет на качество сырья. Напр. белки русская и западная с опушением красноватого цвета резко отличаются от восточной якутской белки с голубовато-серой окраской. Спелостью шкурки называется степень развития волосяного покрова. Вполне спелые получаются от животных, убитых зимою; в это время шкурки имеют густой и мягкий пух (подшерсток), длинную и блестящую ость, белую чистую и эластичную мездру (кожу). Шкуры зимнего боя называются полноволосыми и идут в 1-й сорт. Шкуры раннеосеннего боя имеют мездру зеленоватую, пух редкий и ость недостаточно рослую (высокую); они называются полуволосыми и идут во 2-й сорт. Шкуры летнего боя имеют очень редкую и низкую ость и почти полное отсутствие пуха. Мездра у них синяя и грубая. Эти шкуры называются тонкими и относятся к последнему сорту. Приемка летних шкур запрещена. Целый ряд шкур сортируется по возрасту. К таким видам относятся: жеребок, каракуль, каракульча, мерлушка, пыжик, муфлон, крымка, смушка, песец. По размеру шкуры сортируются на крупные, средние и мелкие. Размер выражается в *см*² площади шкур. Сортировка по цвету и оттенку играет для многих видов существенную роль, напр. для белки, где имеется целая гамма переходных тонов от красного к темному и голубовато-серому цвету. Помимо перечисленных качеств при оценке меха учитывается: нежность волоса, блеск волоса, рисунок, характер завитка. Пороками сырья являются прель, гарь, молеедистость (повреждение волоса молью), плешины, легко вылезающий волос (теклость) и другие повреждения, встречающиеся в отдельных видах товара (окровавленный волос, перелом на мездре и т. п.). Меховое сырье в СССР стандартизовано по линии Наркомторга. Стандарт на меха построен исключительно на основе практических данных; вопрос о научной проработке стандарта является темой современных исследований в СССР.

Лит.: Федосеев В. Ф., Съемка и оправка пушных шкурок, М., 1927; Орлов С., Шкурка, ее съемка и первичная обработка, Ново-Сибирск, 1925; Твердовский П. Ф., Пушнина, ее виды, заготовка, сортировка, хранение и сбыт, М., 1928; Всесоюзный стандарт на пушнину и меховое сырье, 3 изд., М., 1928; Товарная энциклопедия, под ред. В. Вильямса и Ф. Церевитинова, М., 1927; Поварнин Г. Г., Краткий курс кожев. сырья, М., 1923; Иванов М. Ф., Овцеводство, М., 1925; Карпов М. С., Каракулеводство в его современном состоянии, М., 1928; Кузнецов Б., Строение меха и линька белки, «Изв. Ассоц. научно-иссл. ин-та», М., 1928, т. 1, вып. 1—2; Булгаков Н., Меховое производство, М., 1928; Житкова Б. М., О научной основе пушных стандартов, «Пушное дело», М., 1925, *1—2*; его же, К методике исследования пушно-меховых товаров, там же, 1928, *13—14*; Бойцов Л., Опыт исследования волосяного покрова шкурок песца, там же, *6—7*; Цалкин В. И., Строение волоса песчаного суслика, там же, *10—11*; Мейер Э. Ф., Кроличьи шкуры и их выделка на мех и кожу, М.—Л., 1929; Зверобойный промысел и утилизация рыбных отбросов, под ред. В. Мейснера, М., 1929; «Пушное дело», М., 1925—29; Friedental, Tierhaaratlas, Jena, 1911; Litterscheid u. Lambardt, Die Erkennung d. Haare unserer Haussäugetiere u. einiger Wildarten, Hamm, 1921; Kronacher, Neues über Haar u. Wolle, «Ztschr. f. Tierzüchtung u. Züchtungsbiologie, B., 1907, B. 1, H. 1—3; Genot, L'identification des fourrures, étude microscopique des poils, «La Halle aux Cuirs», P., 1925, *1—3*. **Н. Булгаков.**

МЕЦЦО-ТИНТО, черная манера, один из старинных ручных способов гравирования; принадлежит к глубокой печати. Сущность способа заключается в нанесении на шлифованную медную пластинку сплошного «корешка» (мелкозернистой поверхности, дающей при печатании равномерный глубокочерный тон) путем особого зубчатого инструмента—«качалки»; затем при помощи шабера и гладилки производится последовательное от черного к белому просветление корешка соответственно требуемому рисунку. В настоящее время М.-т. не имеет производственного значения и отождествляется с понятием механизированного способа глубокой печати — тифдрук. См. *Гравирование, Репродукционные процессы* и *Тифдрук*. **Е. Тейс.**

МЕШАЛКИ, см. *Размешивание материалов* и *Смесительные аппараты*.

МЕШЕЧНАЯ ТКАНЬ, см. *Ткани технические*.

МИКАЛЕКС, жаростойкая пластич. масса на слюдяном основании, обладает высокими диэлектрич. свойствами и применяется как электроизоляционный материал. Уд. вес М. 3÷3,3; прочность на сжатие 1 200—3 900 *кг/см*²; прочность на разрыв 775÷930 *кг/см*²; прочность на изгиб 1 200—2 000 *кг/см*²; прочность в отношении удара 4—7; теплостойкость, по Мартенсу, 450°; твердость, по Бринелю, 40÷50, а при испытании склероскопом 40; огнестойкость (по Гюте) 4; теплопроводность 5,5 cal *см/см*² ск. °С; коэф. линейн. расширения $881 \cdot 10^{-8}$ (при 25÷50°) и $1\,140 \cdot 10^{-8}$ (при 150÷175°); светостойкость оценивается по герман. системе баллом 3, влагостойкость—баллом 4; поглощение воды за 24 ч. равно 0,02%; диэлектрич. коэф. 5÷7, в нек-рых случаях 8; удельное электросопротивление $8 \cdot 10^{8}$ Ω-*см*; диэлектрические потери при высоких частотах весьма малые; электрич. крепость значительная и равна 15÷24 kV/*мм*. М. отличается легкой и разнообразной обрабатываемостью, в частности может распиливаться, обтачиваться и т. д.

Производство М. Исходными материалами для М. служат отходы белого мусковита, получающиеся при вырезке шайб и других слюдяных изделий, и особый цементирующий состав. Оба материала д. б. вполне свободны от органич. веществ. Цементирующий состав изготовляется из перемолотых — борной кислоты 28,8% и окиси свинца 71,2%; после 30-минутного размешивания смесь нагревают в плоских тиглях в течение 1 ч. до 380°, пока цвет ее не станет делаться оранжевым, после чего ее измельчают на мельнице «Перплекс» и просеивают. Затем составляют смесь из 60% размолотой на той же мельнице слюды и 40% цементирующего состава, которую размешивают ок. 30 мин., а затем еще 50 мин. по добавлении к ней 10% (от количества цементирующего вещества) воды. Полученная смесь может сохраняться. Для выделки из нее микалексовых пластин ее подвергают предварительной холодной прессовке 300 — 400-тон-

ным прессом, причем она усаживается приблизительно на 18%. Отпрессованные пластины просушивают при комнатной $t°$ в течение 24 ч., а затем в течение 3 ч. при 40—50°, после чего прогревают постепенно до 650—700° и подвергают прессовке в матрицах, нагретых до 400°. Изделие равномерно и медленно охлаждают и затем протирают промасленной тряпкой. Фирма AEG выпускает М. в пластинах 410×310 *мм*, при толщине в 3÷12 *мм*, причем цена возрастает с тонкостью пластинки. М. выделывается также в Англии и США, причем выпускается в виде пластин, трубок, палок. В М. могут быть запрессовываемы металлич. части. Технич. свойства М. весьма ценны, но широкому распространению его пока ставят препятствия сложность производства и значительная цена.

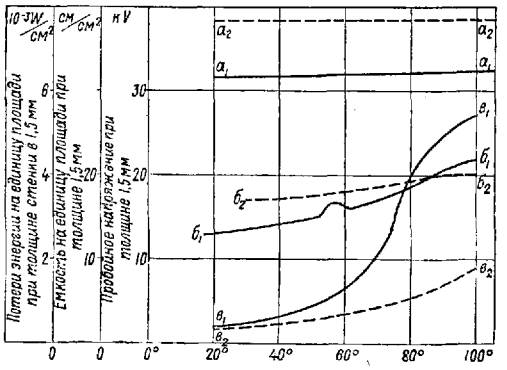
Лит.: «A. E. G. Mitteilungen», B., 1927, H. 10, p. 416; «Revue général des Matières Plastiques», P., 1930, T. 6, *4*. **П. Флоренский.**

МИКАНИТ, слоистый электроизоляционный материал, получаемый из весьма тонких листков слюды склейкою их посредством различных связующих веществ и последующей прессовкой; по своему значению в электромашино-, трансформаторо- и аппаратостроении миканит должен считаться одним из самых важных материалов соответственных областей промышленности, несущим исключительно ответственную службу.

Историко-экономические предпосылки. Как известно, слюда представляет изоляционный материал, с к-рым не может сравниться никакой другой; это исключительное значение слюды принадлежит ей в виду ее очень большой электрич. крепости, высокого электросопротивления, ничтожного угла диэлектрич. потерь, сравнительно малой зависимости этих характеристик от $t°$, в виду теплостойкости слюды, негигроскопичности, упругости и расщепляемости на тончайшие листки. Несмотря на все перечисленные исключительные преимущества слюды, применение ее оказалось весьма ограниченным невозможностью получать кристаллы с достаточно большой поверхностью и высокой ценой этого материала, возрастающей несравненно быстрее, чем площадь поверхности. Быстрый рост потребности в слюде и возрастание требований на величину площади повели к необходимости прибегнуть к искусственному увеличению этой последней. Первоначальные попытки делались по двум направлениям: либо путем склейки крупных кусков слюды либо путем раскатки теста из мелких слюдяных частиц и цементирующего вещества. Однако технически наиболее целесообразным оказался путь средний, а именно склейка пластинок среднего размера, каковая и дает собственно М. Начало производства М. относится к 1893 г., когда Mica Insulator Co. в США стало эксплоатировать патент американца Менселля (Munsell); в том же году был получен подобный патент в Германии. В настоящее время М. (иногда под другими названиями, напр. амберит, мегомит, меготальк и т. д.) производится многими фирмами, но в Америке самый термин М. считается фирменным названием, и потому соответственные изделия выпускаются под различными описательными названиями, в состав к-рых большей частью входит слово слюда.

Классификация. М. может классифицироваться: по роду примененной слюды (М. мусковитовые, флогопитовые, аномитовые и в некоторых случаях биотитовые); по природе цементирующего вещества (М. шеллаковые, бакелитовые, глипталевые, силикатные, борнокислосвинцовые и т. д.); по степени теплостойкости (обычные, теплостойкие, жаростойкие, жароупорные); по электрической крепости; по углу диэлектрич. потерь; по твердости (твердые, средней твердости, мягкие); по способу применения (жесткие, неправильно называемые твердыми, хотя как раз они часто делаются из флогопита и относятся к мягким, формовочные и гибкие); по содержанию связующего вещества; по роду материалов, сочетаемых со склеенной слюдой (просто слюдяные, бумажно-слюдяные, картонно-слюдяные, полотняно-слюдяные, шелково-слюдяные); по геометрической форме (листы, трубки круглого сечения, трубки квадратного сечения, конусы, фасонные изделия, лента и т. д.); по служебной функции (коллекторный, прокладочный, фасонный, для изоляции ребристых изоляторов, для нагревательных приборов, для изоляции обмоток и т. д.). Сводная классификация видов М. и основные ориентировочные сведения о каждом из них даны в табл. 1.

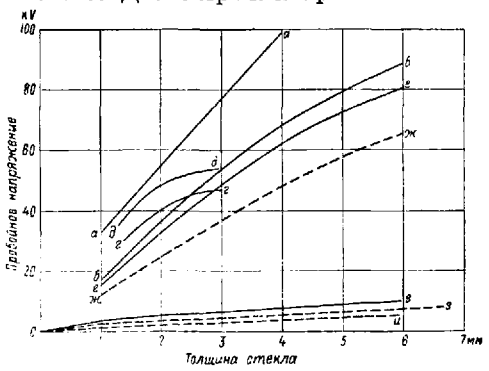
Свойства М. При существовании М. весьма различных марок обобщить технич. свойства его невозможно, и потому следует говорить об отдельных видах. Практически наиболее важно поведение М. при нагреве, тем более что с повышением $t°$, вследствие размягчения и происходящих отсюда деформаций, изменяются также и электрич. свойства М. Теплостойкость М. находится в обратном отношении с содержанием органич. цементирующего вещества, и потому в убывающем порядке теплостойкости располагаются М.: жаростойкий (предельная темп-ра 600°), мегомит с содержанием органич. вещества 1%, жесткий коллекторный с содержанием этих веществ до 2%, коллекторный с содержанием их от 10 до 25%, формовочный (предельн. темп-ра 100—110°), миканитовые



Фиг. 1.

трубки. С другой стороны, теплостойкость зависит от рода связующего вещества; напр. *глипталь* (см.) в этом отношении выше шеллака. Как показывают опыты, трубки, нагруженные ртутью и не имеющие внешней поддержки, значительно деформируются уже при 70°, если склеены лаком на шеллаковом основании, и—при 100°, если склейка глипталевая. Эти цементирующие вещества ведут и к другим последствиям. На фиг. 1 показаны результаты сравнительного испытания трубок (толщина стенок 1,5 *мм*) при склейке их шеллаком (сплошные линии, индекс *1*) и глипталем (пунктир, индекс *2*). Линии *а* характеризуют пробойное напряжение, линии *б*—электрич. емкость на единицу площади, а линии *в*—удельные диэлектрич. потери при градиенте 25 kV/*см*, причем все эти величины даны как функции $t°$. Как видно из представленных кривых, элек-

трическая крепость М. мало зависит от $t°$, но электрич. крепость глипталевого М. выше, чем шеллакового. Сравнительные данные электрич. крепости для разных толщин стенки миканитовых трубок представлены кривыми на фиг. 2 (*г*—шеллаковый М., *д*—глипталевый М.; испытание под маслом); во всех случаях электрич. крепость глипталевого М. на 15—20% превосходит таковую же шеллакового. Диэлектрич. коэф-т шеллакового



Фиг. 2.

М. несколько меньше, чем глипталевого, но соответственная кривая (*б*) обнаруживает более крутой подъем, чем у глипталевого миканита, а с 85° и перегоняет последнюю. Диэлектрич. потери в глипталевом М. показывают спокойный подъем с ростом $t°$, тогда как у шеллакового М. после 65° они начинают стремительно возрастать. Наконец следует отметить, что зависимость диэлектрич. потерь от градиента у глипталевого и шеллакового М. тоже различается не к выгоде последнего: у глипталевого М. кривая потерь подымается с градиентом плавно, тогда как у шеллакового, начиная от градиента примерно 4 kV/*мм*, подымается круто; при этом механич. нагруженность и более высокая $t°$ ведут к более крутому подъему кривой. Как выяснено О. Бронном и П. Поповым (ХЭЗ), при повышении градиента поля $\operatorname{tg}\delta$ (δ угол диэлектрич. потерь) в трубках из М. и в коллекторных пластинах до значения градиента 4 kV/*мм* почти не изменяется, но затем начинает быстро расти; повышение $t°$ от комнатной до 80° делает ход соответственных кривых гораздо более крутым, но при градиенте, превосходящем 10 kV/*мм*, кривые, относящиеся к коллекторному М., снова переходят к пологости. Длительное действие поля, соответствующего этому насыщению угла диэлектрич. потерь, с т а р и т М.; постарение выражается в появлении критич. подъема кривой тангенса при меньших градиентах, причем по мере процесса постарения этот критич. подъем появляется при все меньших градиентах, а предельное значение $\operatorname{tg}\delta$ становится больше; так напр., через 12 ч. действия поля устойчивое значение $\operatorname{tg}\delta$ наступает уже при 2,5 kV/*мм*.

Зависимость электрич. крепости М. от толщины стенки представлена для М. различных видов на фиг. 2; круглые трубки: из чистой слюды при 80° (*а*), из М. при 80° (*б*), из коричневого М. при комнатной $t°$ (*в*) идут в порядке убывающей электрич. крепости; из представленных данных видно, как значительно падает эта характеристика при повышенном содержании цементирующего вещества. На той же фиг. 2 представлены сравнительные данные относительно круглых трубок из других, отличных от М., слоистых материалов: пертинакса при комнатной $t°$ (*е*), того же материала при 80° (*же*), специальной карты при комнатной $t°$ (*з*) и нормальной карты при комнатной $t°$ (*и*). Повышение $t°$ даже до 100° действует вообще незначительно на электрическую крепость М., причем продукты, не содержащие волокнистых материалов, слегка снижают свою электрич. крепость, а продукты, в к-рых слюда находится в сочетании с волокнистыми материалами, даже повышают ее. Действие масла при комнатной $t°$ можно в общем считать выгодным вопреки тому, что происходит с чистой слюдой, но при нагреве электрич. крепость оказывается зато несколько сниженной против таковой же при испытании в воздухе. Данные по действию $t°$ и масла на М. сопоставлены в табл. 2.

Табл. 2.—Зависимость электрической крепости слюдяных материалов от нагрева (по данным В. С. Фляйта).

Материал	Среднее пробивное напряжение, приведенное к толщине 1,53 *мм* ($^3/_{16}$ дм.)					
	в воздухе		в масле		среднее из всех испыт.	
	30°	100°	30°	100°	30°	100°
Твердый миканит	36,0	33,8	36,0	29,5	36,0	31,7
Гибкий »	44,1	40,6	48,0	39,9	46,1	40,3
Микафолий	27,5	30,7	33,8	28,8	30,6	29,7
Слюдяное полотно . . .	19,1	21,4	20,2	18,7	19,6	20,1
Лакированное слюдяное полотно	31,5	34,7	35,2	35,0	33,4	34,9
Слюдяной шелк	24,4	26,5	31,6	25,2	28,0	25,9
Гибкая слюдяная бумага	23,0	28,8	30,5	27,0	26,8	27,9
Твердая » »	33,0	31,5	40,3	35,8	36,6	33,6
Японская » »	24,9	29,9	39,8	30,5	32,3	30,1
Среднее . . .	29,3	31,0	35,0	30,0	32,3	30,5

Электросопротивление М. сильно зависит от подробностей производственного процесса, повышаясь по мере выдержки материала и горячей его просушки. Кроме того электросопротивление М. в каждом состоянии материала падает вместе с ростом градиента наложенного поля, стремясь подойти к некоторому асимптотич. значению. На фиг. 3 представлены, по данным Эвершеда, графы указываемой зависимости. Кривая *а* относится к исходному состоянию М., кривая *б*—к М., лежавшему на воздухе в течение 5 суток, кривая *в*—к М., лежавшему на воздухе 90 суток, кривая *г*—к М., покрытому лаком, и наконец кривая *д*—к М., просушенному в течение 4 ч. в шкафу при 150° и затем выдержанному 24 ч. на воздухе.

Т е х н и ч е с к и е у с л о в и я. Большое разнообразие миканитовой продукции и условий ее применения не позволяет дать общие технич. условия на все виды М. Но и на отдельные виды М. технич. условия до настоящего времени разработаны недостаточно, и в этом отношении м. б. указаны лишь нек-рые отдельные требования. Так, в отно-

Табл. 1.—Классификация М. и ориентирово

№ по порядку	Род М.	Вид М.	Другие ходовые названия	Производственные данные						Применяемое давл., кг/см²
				Слюда			Вспомогательный материал	Цементирующее вещество		
				Род слюды	Содержание в % по объему	Содержание в % по массе		Род его	Содержан. в % органических веществ по объему	Содержан. в % органических веществ по массе
1	Неформующийся жесткий	Теплостойкий	Жаростойкий, Heizmikanit, Amberite non fraisé	Мусковит, предпочтительнее флогопит	—	—	Не требуется	Силикат натрия, бентонит, каолин и органич. вещества	⩽1	⩽1,75	—
2	»	Микалекс	—	Мусковит в порошке	—	60	Не требуется	Борнокислый свинец	—	40	—
3	»	Мегомит	—	—	—	—	—	—	Ок. 1	—	—
4	»	Турбомина	—	Флогопит	—	—	—	—	—	—	—
5	»	Меготальк	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	»	Супрамиканит	—	—	—	—	—	Глинталь	—	—	—
7	»	Белый коллекторный, твердый	Коммутаторный, Hard Micanite	Муск. №№ 5 и 6 (англ. ст. № 5 и 5½)	70—80	95	Не требуется	Шеллак	20—30	⩽4	70—8(
8	»	Белый коллекторный, мягкий	Коммутаторный, Hard Micanite	Флог. №№ 5 и 6 (по англ. ст. № 5 и 5½)	70—80	95	Не требуется	Шеллак	—	⩽4	70—8(
9	Горячеформуемый (формовочный)	Коричневый жесткий	Коричневый твердый, Stanzbraun, Hartbraun	Мусковит № 4 и 5	90—85	—	Не требуется	Шеллак	—	10—20	—
10	»	Коричневый формовочный	Коричневый полутвердый, Formikanit, Braunmikanit formbar, Moulding Mikanite	Мусковит № 4 и 5	90—75.	—	Не требуется	Шеллак	—	20—35	—
11	»	Микафолий	Micafolium, Micafolio	Мусковит № 5	До 30% от всей изолирующей обвертки	—	Лакированная бумага, иногда картон	Шеллаковый лак	1,5—2,4	—	—
12	»	Слюдяные трубки	Миканитовые гильзы	Мусковит № 5 и 6	—	Ок. 72	—	Шеллак или глинталь	—	Ок. 28	—
13	Холодноформуемый	Гибкий	Flexibelmikanit, Micanite flexible	Мусковит № 4 и 5	—	—	Шелковая папиросная или японская бумага	Смесь из смол и камедесмол с масл., вкл. касторовое	—	15—20, до 30, у тонких 12	—
14	»	Слюдяной шелк	Glimmerseide, Mica-Silk	Мусковит № 4	—	—	Японская шелковая ткань	Специальный лак	—	4—6	—
15	»	Слюдяное полотно	(Одно- и двухстор.) Mikanit-Leinen, Mica Cambric	Мусковит № 4	30	—	Кембрик	Специальный лак со значит. содержанием шеллака	—	—	—
16	»	Слюдян. японск. бумага	Heizglimmer	—	—	—	Япон. бум., иногда шелк. папирос. бум.	Специальный лак	—	3—5	—
17	»	Слюдяной картон	Mikartafolio, Pressboard a. Mica	Мусковит	—	—	Тонкий прессшпан	Шеллаковый лак	—	—	—
18	»	Слюдян. летероид	—	—	—	—	Летероид	—	—	—	—
19	»	Слюдян. бумага	Миканит. бумага	—	—	—	Бумага крафт или канатная	—	—	—	—
20	»	Слюдян. лента	—	Мусковит № 4	—	—	Кембрик, шелковая ткань и др.	—	—	—	—

ные данные для различных видов его.

Физические свойства						
Уд. вес	Механический характер	Гигроскопичность (поглощение паров воды) за 24 ч. в %	Отношение к нагреву	Диэлектрич. коэф-т	Электрическая крепость при 20°, kV/мм (из расчета)	Электросопротивление, Ω-см
—	Жесток, не деформируется при нагревании	—	Предельная t° 450—500°	5—7	Непробиваемость при 440V	—
—	Тверд; Брин. 40—50; склероск. 40; прочн. на разр. 1 200—2 000 кг/см², на сжатие 1 200—3 900 кг/см²	0,02	Предельная t° свыше 400°	5—7	24—15	Объемн. $8 \cdot 10^{8}$
—	—	Негигроскопичен	Более теплостоек, чем обычный коллекторный М.	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	40	—
—	—	—	—	—	—	—
2,0—2,4	Вовсе не гнется и сохраняет свою плоскую форму; тверд и трудно снашивается	0,13	Сохран. жесткость до 100°	4,5—5	32—36	Объемное $1,7 \cdot 10^{12}$ Поверхн. $5 \cdot 10^{13}$
2,0—2,4	То же; мягок и сравнительно легко снашивается	0,13	Сохран. жесткость до 100°	4,5—5	28—34	Объемное $1,7 \cdot 10^{12}$ Поверхн. $5 \cdot 10^{13}$
Ок. 2,5	В холодном состоянии жесток и не гнется; при нагреве пластин до 105—115° изгибается (радиус кривизны не менее 25—30 мм)	—	—	—	32—36	—
Ок. 2,5	Хорошо формуется при 105—115° и дает острые ребра	—	Не терпит нагрева, значительно размягчаясь уже при 80°	—	32—36	—
—	—	—	Размягчается при нагреве до 80°	—	—	—
—	При обыкновенной t° жесткий, но при 80° начинает деформироваться; глипталевый деформируется ок. 100°	1,26	Размягчение при 70°, но при поддержке продолжает нести свою функцию при более высокой t°	—	—	—
2	Легко изгибается в холодном состоянии	—	Не допускает нагрева; для электронагреват. приборов не применим	—	24	—
—	То же	—	—	—	—	—
—	То же	—	—	—	15 и до 28	—
—	Очень гибкая, будучи намотана, держится на предмете	—	Допускает известн. нагрев	—	—	—
—	Весьма гибок	—	—	—	14	—
—	—	—	—	—	—	—
—	Плотно прилегает к изолированным предметам, на которые наматывается	—	—	—	20	—
—	То же	—	—	—	—	—

Табл. 1.—Классификация М. и ориентир. данные. (Продолжение.)

№ по пор.	Эксплоатационные данные			Размеры изделий		
	Назначение	Обрабатываемость при применении	Специальные требования	Толщина в *мм*	Ширина в *см*	Длина в *см*
1	Изоляция в электронагревательных приборах	Шлифовка не рекомендуется во избежание появления слабых мест	Возможная тонина, сохранение электрических свойств до 600°, отсутствие неприятного запаха при выгорании лака	0,3—0,4; редко 0,5; допуск 0,1 *мм*	50—55	105
2	Радиоаппаратура, электронагревательные приборы, перегородки и т. д.	Хорошая обрабатываемость различными способами	—	3—12 *мм*	31	41
3	—	—	—	—	—	—
4	Специально для турбогенераторов	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—
7	Прокладки между ламеллями коллекторов с подрезанными сегментами	Фрезер., шлиф., полируется; при этом сним. 10—12%, а при недост. точн. первон. калибр. до 25%	Точность толщины до 0,020 *мм*; звонкость при ударе	0,25—1,5, иногда 2 (более толст. в наст. вр. не применяются)	55	105
8	То же, но при неподрезанных сегментах	То же	То же	То же	То же	То же
9	Подкладочные шайбы, трубки	Шлифуется, формуется при 105—115° под давлением	Особых требований точности в отношении размеров не предъявляется; звонкость при ударе	0,4—0,5; иногда 0,6	55—135	50—200
10	Коллекторн. кольца, трубки малого радиуса и др. фасонные изделия с крутыми искривлениями	Шлифуется	Звонкость при ударе	0,25—0,4	55—135	50—200
11	Производ. изоляц. трубок путем навертывания минафолия на стержни при нагреве; изоляция катушек шаблонной обмотки.	—	—	0,25—0,4	10	5 000—10 000 (рулоны)
12	—	—	—	—	—	—
13	Облицовка проходов, специальные обвертки, изоляция обмоток электромашин и трансформаторов сверхвысокого напряжения	—	—	0,15—0,6	100	100
14	Изоляция обмоток и магнитопроводы электромашин, особенно турбогенераторов	—	—	0,008—0,10	—	—
15	Применяется как и слюдяной шелк в тех случаях, когда в изоляции не требуется особенно большого процента слюды	—	—	0,3—0,4	50—100	100
16	Изоляция ребристых предм.; изол. обмоток больших маш., требующ. больш. проц. слюды	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—
19	Изоляция ребристых предметов	—	—	0,15—0,6	100	100
20	—	—	—	—	—	—

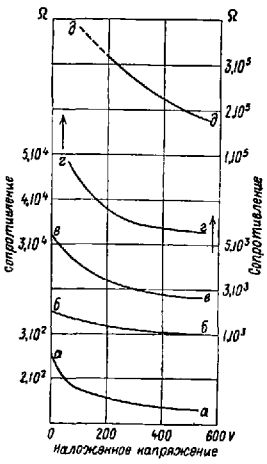
шении М., применяемого в устройствах с $t°$ не выше 100°, герм. нормы (VDE) нормируют главн. образ. электрич. крепость и содержание склеивающего вещества, согласно табл. 3. Кроме того подлежит испытанию

Табл. 3.—Нормы Союза германских электротехников (VDE) на М. разных видов.

Нормируемое свойство	Коллекторный М.	Гибкий М.	Формовочный М.	
			твердый	полутверд.
Электрич. крепость в kV/мм: *				
При приемочн. испытании ∢	7	6	9	9
При типовом испытании ∢	12	10	15	15
Содерж. склеивающего вещества в % .	4	30	20—10	35—20

* При испытании на пробой в течение 1 м.

теплостойкость коллекторного М., а именно, не выдавливается ли при 160° склеивающее вещество под давлением 200 *кг/см²*. В отношении коллекторного М. весьма важно условие точной калибровки толщины. В некоторых технических условиях особо отмечаются требования на обрабатываемость фрезерами, сверлами и штампами, достаточная степень истираемости, близкая к истираемости меди, водонепроницаемость, звонкость при ударе и т. д. Следует отметить, что производство М. еще не настолько установилось, чтобы можно было с уверенностью предъявлять к М. требования, соответствующие результатам отдельных испытаний, и потому в технических условиях обыкновенно наблюдается значительное снижение норм.

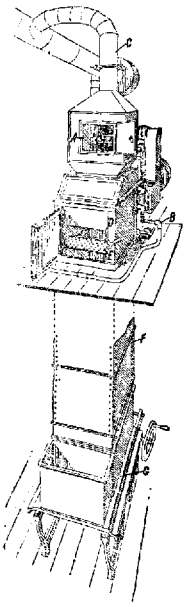


Фиг. 3.

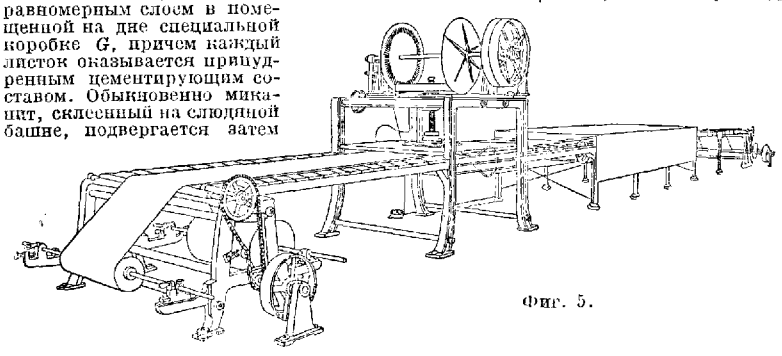
С ы р ь е. Исходное сырье—слюда—идет на М. почти исключительно в двух минералогич. разностях: как мусковит и как флогопит, соответственно назначению М. Качество М. существенно зависит от правильной сортировки, очистки и щипки слюды. Размеры, применяемые согласно англ. стандарту в миканитовом производстве, характеризуются толщиною около 20 μ и номерами 4, 5 и 6 (№ $5^1/_2$ индийского стандарта), т. е. площадями примерно 19 — 39 *см²* (3 — $5^3/_4$ дм.²), 10 — 28 *см²* ($1^1/_2$ — $2^7/_8$ дм.²) и свыше 8,8 *см²* ($1^3/_8$ дм.²) соответственно. При таком выборе сорта слюды М., несмотря на добавочную стоимость довольно дорогого связующего вещества и кропотливой работы, оказывается все-таки дешевле, чем слюда сколько-нибудь крупных размеров, даже включительно до № 3, т. е. с площадью 65—96 *см²* (10—$14^3/_4$ дм.²). Есть попытки пустить на М. слюду более мелкую (№ 7), но с технич. стороны целесообразность такого приема не доказана, а со стороны экономической значительное увеличение работы по щипке и склейке подобной мелкой слюды может повести к добавочным расходам, перевешивающим выгоды от удешевления материала. Согласно английскому стандарту, на производство другого вида М.—микафолия, идут листки слюды с толщиной листков от 12 до 37 μ. Выбор между мусковитом и флогопитом определяется в зависимости от требований к М.: бо́льшие мягкость и жаростойкость удовлетворяются флогопитом, тогда как бо́льшая электрич. крепость и меньший угол диэлектрич. потерь—мусковитом. Но кроме этих основных соображений необходимо иметь в виду, что как электрич., так и механич. свойства слюды находятся в существенной зависимости от рода с р е д ы, с к-рой слюда соприкасается, т. ч. для каждого рода слюды и для М. каждого назначения должны быть подбираемы соответственные связующие вещества. Кроме того качество М. весьма сильно зависит от различных тонких условий производства, напр. от степени освобождения слюды от тончайшей влажной пленки, от действия воздуха на связующее вещество при процессе работы и следовательно от замены воздуха инертным газом и т. д. В качестве связующих веществ на М., от к-рых не требуется жаростойкости, идут растворы различных *камедесмол* (см.) и смол как естественных, так и искусственных, в надлежащих растворителях, в смеси с нек-рыми маслами, причем, когда требуется особенная гибкость, то масла добавляются также и несохнущие, напр. касторовое. Наиболее употребителен в качестве смолы для М. был шеллак, применялись также альдегиднофенольные синтетич. *смолы* (см.), но М., склеенный ими, оказался слишком хрупким. Последнее время получил успех в качестве склейки для М. глипталь, имеющий во многих отношениях большие преимущества даже перед шеллаком; тем не менее пользование этим последним остается весьма значительным, отчасти м. б. из-за недостаточного умения вводить глипталь в сочетания с разными другими веществами. Наконец для жаростойких М. применяются различные неорганич. цементирующие вещества и смеси, состав к-рых держится фирмами в секрете. В нек-рых случаях применяются сочетания с силикатом натрия и уксуснокислым свинцом, каолином, бентонитом и т. д., борнокислый свинец (см. *Микалекс*) и т. д. Пользование цементирующими веществами в миканитовом деле требует большой опытности.

О с н о в а н и я п р о и з в о д с т в а. Для примера опишем производство листового М. Производство его вручную состоит в том, что расщепленные листочки слюды укладываются в один слой на плоской поверхности, прикрытой невпитывающей влагу бумагой, в перекрышку, так чтобы они легли в виде чешуи; затем они покрываются (напр. опрыскиванием или припудриванием) склеивающим веществом, чаще всего специальными лаками или смоляными сплавами и покрываются вторым слоем слюдяных листков; процесс повторяется до тех пор, покуда не будет нарощена достаточная толщина, после чего склеенная слюда (если склеивающий состав был жидкий) подвергается просушке на сетках в течение нескольких часов, в соответствии с родом склеивающего лака. По просушке пластины покрываются с обеих сторон листами прессшпана или ткани и подвергаются горя-

чей прессовке в течение нек-рого времени под умеренным давлением, степень к-рого д. б. в точном соответствии с назначением М., т. к. от степени давления зависит содержание в М. связующего вещества. Производство М. по мысли не представляет ничего сложного, однако весьма высокие требования, предъявляемые к миканиту, ведут к ряду трудностей, обусловленных как выбором надлежащего исходного сырья, так и производственными процессами, причем полной механизации последних до сих пор не достигнуто и наиболее ответственные операции—щипка и склейка—ведутся вручную. Наиболее существенно при производстве М.—избегнуть случайного прохождения через одну точку многих контуров слюдяных листков, т. к. в противном случае образуется в М. электрически слабое место. Необходимой для достижения указанной цели машины не придумано, и потому требуется опытный глаз, в помощь к-рому устраиваются специальные столы из зеркального стекла, освещаемые снизу, так что процесс склеивания ведется на просвет в темном помещении. Хотя описанное ручное производство М. и кропотливо, однако, если оно ведется надежными работниками, то при нем результаты получаются наилучшие. Из различных предлагавшихся машинных способов производства М. наиболее достигающим цели оказался так называемый башенный (или шахтный). Слюдяная башня, или шахтная машина для склейки М. (фиг. 4), состоит из камеры *A*, куда поступает слюда, причем автоматически сжимаемый воздух *B* способствует дальнейшему ее разделению на листочки. Над камерой имеется пылеотсасывающее приспособление *C*, под камерой—другая камера *D*, в которой перекатывающийся вал *E* с отверстиями служит для равномерного по всему пространству распределения связующего вещества в виде мелкого порошка. Общая высота слюдяной башни—до 7 *м*. Падая через ниже помещенную *башню F*, слюда распределяется равномерным слоем в помещенной на дне специальной коробке *G*, причем каждый листок оказывается принудренным цементирующим составом. Обыкновенно миканит, склеенный на слюдяной башне, подвергается затем



Фиг. 4.



Фиг. 5.

оклейке более крупными листками слюды и калибруется по толщине. После этого слюда подвергается горячей прессовке. При производстве слюдяной ленты, слюдяного полотна, слюдяного шелка и т. д. слюда накладывается обыкновенно одним слоем вприкрышку, иногда двумя и в особых случаях—тремя. Специальная машина Келлера и Праля для полумеханического производства микафолия и микартона рулонами изображена на фиг. 5. Односторонне покрытая лаком бумага, тонкая, но прочная и не шероховатая (или картон), перематывается на специальном столе, вручную покрывается листочками слюды и затем проходит между сильно нагретыми досками фрикционного пресса, после чего вновь покрывается лаком, просушивается в нагретой камере и, пройдя по длинному столу, вновь сматывается в рулоны. Обогрев ведется либо паром либо электричеством. Машина производит в час от 35 до 45 *м* слюдяной бумаги, причем требуется от 6 до 12 рабочих, в зависимости от величины слюдяных листков, длины стола и других условий. Для машины требуется пространство длиною 15 *м*, шириною 1,2 *м* и высотою 2,4 *м*. Существует того же назначения машина Гефели (Haefely), к-рый впервые ввел производство микафолия.

Лит.: Брон О. Б., Усадка коллекторного миканита, «Вопросы изоляции в электротехнике», М.—Л., 1930, стр. 178—191; его же, Работы лаборатории по электроизолирующим материалам Харьковского электромеханическ. завода ХЭМЗ, там же, М.—Л., 1930, стр. 97—98; Monkhouse A., Electrical Insulating Materials, L., 1926, p. 179—187; Die Isolierstoffe d. Elektrotechnik, hrsg. v. H. Schering, B., 1924, p. 95—107 (статья R. Schröder, Glimmer u. Glimmerprodukte); Zeitler H., Glimmer, 1913; Flight W. S., The Effect of Heat on the electric Strength of some commercial Insulating Materials, «JAIEE», 1922, vol. 60, *396*; Jackson R. P., Electric Insul. Material, «Electric Journal», Pittsburg, 1919; Evershed S., «JAIEE», 1913, vol. 52, p. 51; McClain J., ibid., 1924; Wiggins F., «The Electrical Review», 1912, vol. 71, p. 564; Plobel G., «ETZ», 1921, B. 42, p. 306 (нормализация изолирующих трубок); Christiani W., ibid., 1921, B. 42, p. 309—311 (изолир. трубки); Dickson A. A. C., «The Electrical Review», L., 1923, vol. 93, p. 749, 1924, vol. 94, p. 408, 1924, vol. 95, p. 226; Onslow D., «World Power», L., 1925, *9*. **П. Флоренский.**

МИКРОАМПЕР, единица измерения силы электрич. тока, равная одной миллионной *ампера* (см.). Сокращен. обозначение μA.

МИКРОБИОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ, одна из ветвей науки о мире микроорганизмов. Под общим именем «микроорганизмы», или «микробы» объединена достаточно пестрая смесь представителей как растительного, так и животного миров. Сюда относятся как бактерии, так и дрожжевые грибы и простейшие даже плесневые грибы. Выделение изучения этих организмов в особую науку—микробиологию (или микробию, по терминологии Пастера) оправдывается и в настоящее время двумя моментами: 1) их громадной и в некоторых отношениях резко отличной от других представителей живых организмов ролью в круговороте веществ и в жизни человека и 2) что особенно важно своеобразностью методов исследования их (чистые культуры). Помимо громадного значения в круговороте веществ в природе микроорганизмы играют большую роль и в жизни человека и притом с разных сторон: одни являются опасными врагами — возбудителями разных болезней (патогенные), другие, наоборот, стоят на страже нашего здоровья, третьи осуществляют серьезные изменения в химизме почвы и тем привлекают к себе внимание сельских хозяев, и наконец имеется большое количество микроорганизмов, представляющих собой агентов или вредителей в самых разнообразных производствах. Подход к изучению каждой из этих групп имеет свои специфические особенности и преследует в конечном итоге несколько различные цели, вследствие чего эти дисциплины отличаются и в методич. отношении. Поэтому в настоящее время обособились в достаточно резком виде самостоятельные научные дисциплины: микробиология медицинская, с.-х. и техническая.

Виноделие, приготовление уксуса и кислого теста, квасоварение и ряд других процессов, теснейшим образом связанных с жиз-

недеятельностью микроорганизмов, были известны и вошли в обиход во времена, уходящие за пределы истории. Процессы эти у нас получили название «брожений», а в средние века их называли «ферментация»—термин, не вполне потерявший свое значение и в настоящее время.

Бродильные процессы лежат в основе многих и разнообразных производств, в которых микроорганизмы являются агентами, направляющими процесс в ту или иную сторону. Все эти производства могут быть грубо разделены на две большие группы. В одних случаях бродильный материал в целом, в результате развивающихся в нем под влиянием микроорганизмов биохимич. процессов, приобретает ценные для человека свойства и становится фабрикатом. Это имеет место гл. обр. в производствах пищевых и вкусовых продуктов, например вина, пива, кефира, простокваши и пр. В других же случаях микробиологический процесс имеет целью накопление в субстрате таких химич. тел, как спирт, ацетон, уксусная или молочная к-ты и т. д., к-рые затем выделяются из субстрата (ректификуются): спирт—отгоном, молочная к-та—переведением ее в соль и т. д., т. е. теми же методами, к-рыми вообще пользуется всякое химич. производство. Легко понять, что именно последнее направление наиболее тесно связано с успехами в области теоретич. познания микроорганизмов и возбуждаемых ими процессов брожений, так как для него представляется существенно важным стремление как к увеличению выходов нужного вещества, так и к возможности получения его в наиболее чистом, т. е. сопровождаемом наименьшим количеством посторонних примесей, виде. В некоторых случаях искусственным вмешательством экспериментатора удается извратить процесс и направить его по иному руслу. Напр., обогащая субстрат, в котором развиваются дрожжи, белками и продуктами их распада, удается добиться значительного повышения выходов сивушного масла и в частности имеющего большое значение в технике амилового спирта; вводя в субстрат, содержащий сахар, кислые сульфиты, напр. кислый сернистокислый натрий, связывающийся с одним из промежуточных продуктов брожения—уксусным альдегидом, удается направить процесс не в сторону накопления спирта, но в сторону накопления глицерина (этим методом последний и получался в Германии во время мировой войны в заводском масштабе). В производстве пищевых продуктов, наоборот, нередко решает дело не чистота основного продукта, но вкусовой эффект примесей. В качестве примеров укажем на б у к е т виноградных вин и своеобразный вкус сливочного масла, зависящий от побочных брожений. В производствах этого рода практич. навык и вкус мастера имеют пока такое же (если не большее) значение, как и его теоретическая подготовка; однако объясняется это только несколько большей сложностью процессов, в которых принимают участие не один, а несколько микроорганизмов, и малой изученностью этих процессов. Но и в этом направлении за последнее время сделаны большие успехи. Укажем на сыроварение, в к-ром начинает прочно прививаться применение чистых культур, приготовление сметаны, различных видов простокваши, пивоварение и пр.

Микробиологич. процессом, наиболее старым и благодаря громадному практич. значению (виноделие, пивоварение, винокурение) привлекавшим к себе внимание как практиков, так и теоретиков, а потому и наиболее изученным с разных сторон, является спиртовое брожение. В начале 19 века было известно только два вида брожения: с п и р т о в о е и к и с л о т н о е, причем под последним разумелось только уксуснокислое брожение, к-рое и до настоящего времени успешно конкурирует с чисто химич. получением уксуса и уксусной к-ты путем перегонки дерева. В настоящее время значительный интерес получили молочнокислое и маслянокислое брожения, к-рые широко применяются для получения соответствующих кислот в заводском масштабе. В 1893 г. Вемером было открыто л и м о н н о к и с л о е б р о ж е н и е, к-рое однако несмотря на значительный интерес пока еще встречает некоторые затруднения для осуществления его в заводском масштабе для производства лимонной кислоты. Наконец как последнее крупное приобретение М. т. в области использования микроорганизмов для продукции химическ. веществ следует указать на а ц е т о н о в о е б р о ж е н и е. Возбудитель ацетонового брожения первоначально был выделен и изучен в Германии (Шардингер, 1905); он получил название Bacillus macerans за свою способность разрыхлять (мацерировать) растительные ткани. Деятельностью этого микроорганизма энергично сбраживаются углеводы (сахары, крахмал) с образованием в качестве главных продуктов брожения: ацетона, этилового спирта и газообразных продуктов—углекислоты и водорода. Получение ацетона путем брожения имеет преимущество перед химическим способом его получения (прокаливанием уксусного порошка): в последнем случае основной продукт сопровождается значительным количеством разнообразных высших гомологов (ацетоновое масло), от к-рых он д. б. очищен, тогда как в процессе брожения они не образуются. Особый интерес получил открытый в 1912 г. Фернбахом возбудитель ацетонобутилового брожения, примененный в громадном масштабе в Англии и особенно в Америке для выработки ацетона и бутилового алкоголя. Интерес к этому процессу объясняется как легкостью и дешевизной получения ацетона, так и ценностью другого продукта—бутилового спирта, нашедшего себе громадный спрос в качестве растворителя при фабрикации целлюлозных лаков и красок. Надо принять во внимание, что и газообразные продукты брожения могут найти применение, например путем утилизации получающейся при спиртовом брожении углекислоты (с предварительным ее восстановлением до окиси углерода) для синтетического получения метилового спирта. Хотя работа в области изучения микроорганизмов и их биохимич. свойств с каждым днем приносит новые данные с точки зрения перспектив применения их в производствах,

создавая тем обширную и полную интереса область, но не следует забывать, что из всего громадного числа микроорганизмов лишь часть (и притом относительно незначительная) нашла себе применение в производствах. Несомненно дальнейшие успехи науки широко раздвинут эти пределы, но и сейчас область М. т. не может ограничиться изучением только агентов производств. Не меньшее значение имеет параллельное разностороннее изучение также и тех микроорганизмов, которые, попадая случайно в субстрат для брожения, могут оказываться серьезными вредителями основного процесса. Понятно, что только близкое знакомство с этими организмами позволяет рационально бороться с ними и обеспечить нормальное течение основного процесса.

Весьма важный и несколько обособленный отдел М. т. представляет собой микробиология молока и молочных продуктов. Так как в молоке имеются значительные количества питательных веществ, то оно оказывается великолепным субстратом для развития самых разнообразных микроорганизмов, которые в подходящих t°-ных условиях необычайно быстро размножаются. Уже в вымени коровы молоко не стерильно, а во время доения, разливки и хранения оно в значительной степени обогащается новыми представителями микроорганизмов в различных, в зависимости от чистоты скота, помещений и рук рабочих, количествах, но всегда в громадных, выражающихся большей частью в сотнях тысяч и даже миллионах на 1 $см^3$. Поэтому во всякой цивилизованной стране микробиологич. контроль над молоком является в настоящее время безусловно необходимым. Еще недавно к продажному молоку предъявлялись требования лишь со стороны химич. контроля (содержание жира, кислотность, отсутствие посторонних примесей и консервирующих веществ), но в городах З. Европы и Америки все с большей настойчивостью ставится на очередь вопрос о бактериологических нормах. Этот вопрос и в соответствующих учреждениях Наркомздрава встречает оживленный интерес, и следует желать, чтобы нормы контроля и самый контроль вошли у нас в жизнь как можно скорее. Т. к. молоко, с одной стороны, жидко, а с другой—легко портится, а следовательно сохранение и транспорт его представляют серьезные затруднения, то человечество еще с незапамятных времен стремится к выделению из него наиболее питательноценных составных частей (жиров, белков). В настоящее время широко применяется получение из молока сметаны и творога, образующихся за счет развития в молоке и сливках молочнокислого брожения. При правильной постановке молочного дела процесс этот направляется разводками чистых культур соответств. молочнокислых бактерий.

На Кавказе, в Туркестане, а также в восточных степях (районы Самары, Оренбурга и т. д.) широко распространено приготовление из молока напитков, основанное на комбинированном брожении, состоящем из молочнокислого брожения и спиртового (к продуктам комбинированного брожения относятся также квас, хлебная закваска, крымская и туркестанская «буза» и пр.). Наибольшую известность получили: кавказский кефир, степной кумыс, айран и др. Во всех этих напитках, еще не в достаточной степени изученных, чтобы можно было с уверенностью перейти к приготовлению их на чистых культурах, главным агентом брожения являются длинные молочнокислые бактерии типа болгарской палочки (B. bulgaricus, или B. caucasicus) и дрожжи. Напитки эти, благодаря своеобразному изменению составных частей молока (пептонизации белков) под влиянием микроорганизмов, оказываются необычайно легко усвояемыми, вследствие чего они широко рекомендуются в качестве лечебно-диэтических напитков при ряде заболеваний.

В качестве одного из наиболее совершенных методов консервирования в твердом виде питательных веществ молока нужно признать сыроварение, которое в принципе сводится к отделению и подсушиванию белков молока, проведению ряда микробиологич. процессов в нем, регулируемых темп-рой, солкой и пр. В результате удается получить высокопитательный, относительно прочный продукт, обладающий различными вкусовыми эффектами в зависимости от характера приготовления и от микрофлоры. Наибольшую ценность имеют сычужные сыры, в которых сгусток получается применением специальной закваски, получаемой настаиванием на молочной сыворотке нарезанного кусочками сычуга (желудка молочных телят). Наиболее изученным из сыров является швейцарский или эмментальский сыр.

Однако сыр является относительно стойким продуктом благодаря тем микробиологическим процессам, которые приводят к характерным изменениям начального сырого продукта. Во многих случаях условия жизни (особенно городской) требуют хранения и иногда продолжительного транспорта как молока, так и других скоропортящихся продуктов (мясо, рыба, фрукты и пр.). Все подобные продукты представляют собой превосходные субстраты для развития самых разнообразных микроорганизмов, нередко в очень короткий срок портящих эти ценные для человека питательные вещества, если не приняты специальные меры к их консервированию. Более или менее длительное консервирование скоропортящихся продуктов м. б. достигнуто различными способами, сводящимися в конечном итоге: 1) к подавлению развития имеющихся в субстрате микроорганизмов и 2) к полному уничтожению их. Первое достигается созданием в субстрате неблагоприятных для развития микроорганизмов условий: хранением на холоду, высушиванием (сушеные овощи и плоды), прибавлением некоторых веществ, задерживающих развитие микроорганизмов (соленья, маринады), а иногда повышением концентрации субстрата, напр. сахара (варенье, сгущенное молоко и пр.), и конечно комбинацией того и другого. Но более совершенное и длительное консервирование достигается вторым методом—умерщвлением зародышей микроорганизмов (стерилизацией), с попутным предохранением материала от попадания новых микроорганиз-

мов из воздуха. Стерилизация иногда без особого ущерба для дела м. б. достигнута химически, а именно прибавлением веществ, либо не представляющих собой яда для человека в тех дозах, в к-рых они достаточны для подавления жизни микроорганизмов, либо легко удаляемых (напр. хлороформ, сернистый газ). Однако гораздо большее значение имеет метод стерилизации высокой $t°$, на к-ром основано в сущности все современное *консервное дело* (см.). В нек-рых случаях для достижения эффекта стерилизации достаточно нагревания, напр. в течение 1 ч. при 70—80°; способ введен в практику Пастером и получил название пастеризации. Она широко применяется для молока и других напитков (ягодных соков), не выдерживающих без изменения своих свойств более высокого нагревания. В большинстве приведенных выше примеров микроорганизмы являются ценными для производства своей биохимической деятельностью, приводящей к разнообразным химич. изменениям в субстрате и к накоплению в нем различных химич. тел. Но иногда накопление продуктов брожения может иметь помимо того и механическое значение. Это имеет место при образовании глазков в сыре и особенно при разрыхлении теста, к-рое достигается тем, что дрожжи, выделяя в процессе брожения углекислоту, превращают тесто в пористую рыхлую массу. Можно привести и такие случаи, когда на микроорганизмы возлагается по преимуществу механич. задача,— напр. в процессе мочки прядильных растений (льна). Мочка сводится к облегчению выделения из стебля прядильных волокон, расположенных пучками в коровой части, с возможно полным отделением от них прочих тканей стебля (костры) и с возможно меньшим изменением ценных физич. свойств самих волокон. Микробиология мочки пока еще мало изучена, что мешает продвижению в эту область промышленности методов чистых культур, т. к. не вполне еще выяснено значение различных встречающихся при естественной мочке микроорганизмов. Во всяком случае повидимому главное значение имеет при этом бактерия пектинового брожения—Plectridium pectinovorum, нормально встречающаяся на стеблях льна. Бактерия эта разрушает пектиновые вещества, из которых состоят срединные пластинки, связывающие отдельные клетки коры льна в одно целое и в значительной степени входящие в состав самих клеточных оболочек. Во время мочки прежде всего подвергаются воздействию бактерий и разрушаются именно срединные пластинки клеток, а затем и все оболочки мякоти коры, в результате чего прядильные волокна могут быть легко выделены в виде пучков, состоящих из 10—12 волокон. См. *Волокна прядильные*.

Лит.: Омелянский В., Основы микробиологии, 6 изд., М.—Л., 1926; Худяков Н., С.-х. микробиология, Москва, 1926; Lafar F., Handbuch der technischen Mykologie, 2 Auflage, B. 1—5, Jena, 1904—14; Weigmann H., Pilzkunde d. Milch, 2 Aufl., B., 1924. **В. Шапошников.**

МИКРОВОЛЬТ, единица измерения электрического напряжения, равная одной миллионной *вольта* (см.). Сокращенно эта единица обозначается: μV.

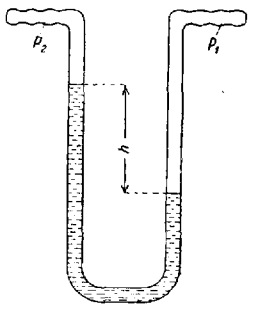
МИКРОВОЛЬТ НА МЕТР, единица *напряженности* (см.) поля электромагнитн. волны.

МИКРОЛАМПА, особый тип электронных приемных ламп (см. *Лампа электронная*), требующий пониженной по сравнению с обычными лампами с чисто вольфрамовой питью мощности накала. Название происходит от греч. слова *μικρός*—малый (малая мощность накала). Уменьшение мощности накала достигается применением катодов (нитей) из торированного вольфрама, что позволяет довести меру накала H до величины 40÷50 mA/W и выше. Параметры лампы «Микро» завода «Светлана» ВЭО (новая марка ПТ2) следующие: напряжение накала 3,6 V, ток накала—60÷70 mA, коэф. усиления $\mu_0 = 10 \div 12$ (т. е. проницаемость 8—10%), крутизна $S = 0{,}35 \div 0{,}45$ mA/V, анодное напряжение 60÷80 V. Анодный ток при сетке, соединенной с отрицательным концом нити, $I_{a_0} = 1{,}3 \div 2$ mA; полная эмиссия около 8 mA и выше. Микролампы, выпускаемые в продажу отделом электронных ламп Электрозавода ВЭО, имеют несколько иные параметры.

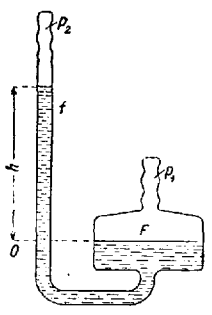
В виду экономичности мощности накала и сравнительной дешевизны М. весьма распространена среди любителей и вообще в тех случаях, когда требуется легкость аппаратуры. К числу неудобств М. следует отнести способность ее чрезвычайно реагировать на сотрясения, благодаря чему получается в телефоне приемника характерный звон, мешающий приему. Особый вид лампы—М. с двумя сетками—позволяет применять пониженное анодное напряжение (15—25 V). Старая марка—МДС, или Микро ДС; новая СТ—6; $S = 0{,}45 \div 0{,}85$ mA/V; $\mu_0 = 9 \div 13{,}5$; $I_{a_0} = 2 \div 3$ mA; остальные данные такие же, как у М. Параметры микролампы и МДС завода «Светлана» подробно исследованы Л. Б. Слепяном.

Лит.: Слепян Л. Б., Электронная лампа как детектор, М., 1929. **Б. Введенский.**

МИКРОМАНОМЕТР, прибор для измерения незначительных разностей давления. М. применяется часто при измерении скоростей газов в вентиляционных установках, скоростей газов в газопроводах, для опреде-



Фиг. 1.

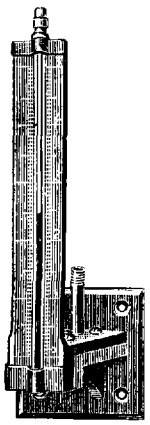


Фиг. 2.

ления тяги в топках; в последнем случае он носит название тягомера. М. бывают жидкостные, мембранные, с колоколами и с кольцевым сосудом.

Жидкостные М. применяются обычно при научных работах и при исследованиях вентиляционных устройств. Наиболее

простым типом жидкостного микроманометра является простая U-образная трубка, частично наполненная жидкостью и сообщающаяся своими концами (фиг. 1) с областями измеряемых давлений. Назовем h—разность высот жидкости в обоих коленах в *мм*, P_1 и P_2—давления, действующие на оба столба жидкости в *кг/м²* (или в *мм* вод. ст.), и γ—плотность жидкости в *кг/л*, тогда:



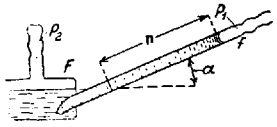
Фиг. 3.

$$P_1 - P_2 = \gamma h. \qquad (1)$$

Для упрощения отсчета часто одно колено делают значительно более крупного диаметра, тогда достаточно бывает произвести один отсчет по шкале, указывающей высоту подъема жидкости в тонкой трубке (фиг. 2). Отсчитывая высоту подъема h_1 от нулевой черты O (т. е. уровня, занимаемого жидкостью при равенстве давлений P_1 и P_2) и называя f и F площади поперечных сечений обоих сосудов на уровне менисков, имеем:

$$P_1 - P_2 = \gamma h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right). \qquad (2)$$

Ошибка в показаниях М., происходящая от опускания уровня в широком сосуде, обыкновенно уравновешивается соответственным изменением шкалы в отношении $\frac{F}{F+f}$ или этой ошибкой пренебрегают в виду ее малости. Конструктивное выполнение М. этого типа изображено на фиг. 3.

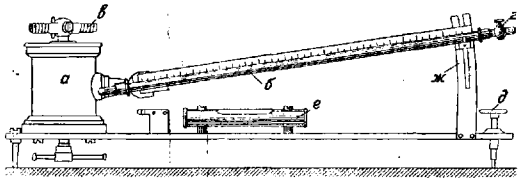


Фиг. 4.

Для увеличения чувствительности прибора делают М. с наклонными трубками. В этом случае (фиг. 4) перемещение мениска n в наклонной трубке, соответствующее разности давлений $P_1 - P_2 = h$, выражается ф-лой:

$$h = n \sin \alpha. \qquad (3)$$

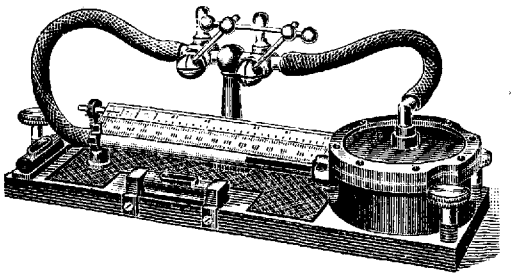
Чтобы по отсчету перемещения мениска n_1 определить действительную разность давлений, пользуются для этого типа М. следующей ф-лой:



Фиг. 5.

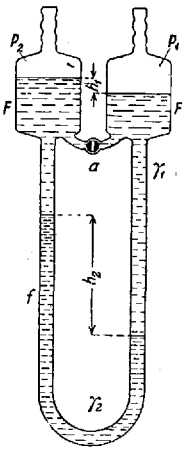
$$P_1 - P_2 = \gamma n_1 \left(\sin \alpha + \frac{f}{F}\right). \qquad (4)$$

М. этого последнего типа (сист. Серá) изображен на фиг. 5; аппарат состоит из тщательно обточенного изнутри для сохранения постоянства F по всей высоте его бронзового резервуара a, к к-рому на шарнире с пустотелой осью присоединена трубка $б$. Резервуар сообщается с полостью, в к-рой имеется большее давление, при посредстве патрубка $в$, трубка—с полостью меньшего давления через кран с насадкой $г$. Аппарат устанавливается горизонтально при помощи установительного винта $д$, правильность установки проверяется уровнем $е$. Эта конструкция позволяет изменять чувствительность прибора, придавая различные углы



Фиг. 6.

наклона трубке $б$; последняя закрепляется при помощи винта, который ходит в прорези градуированной дуги $жс$. Винт $з$ скреплен с отчасти погруженным в жидкость резервуара $а$ цилиндром; поднимая или опуская его, заставляют колебаться уровень жидкости, что служит для приведения мениска в трубке $б$ на нуль перед началом отсчетов. Для особо точных измерений применяют микроманометр системы Креля (фиг. 6), который отличается от предыдущего тем, что: 1) в нем уклон трубки постоянный $\left(n = \frac{1}{4} - \frac{1}{400}\right)$ и 2) он снабжен двумя спаренными трехходовыми кранами, через к-рые оба сосуда одновременно сообщаются или с атмосферой (для установки на нуль) или с обеими полостями измеряемых давлений. Для измерения весьма малых разностей давления применяется также двухжидкостный М. (фиг. 7); этот М. состоит из U-образной трубки сечением f *мм²*, снабженной наверху двумя цилиндрич. расширениями площадью поперечного сечения F *мм²*. В колено наливается более тяжелая жидкость уд. в. γ_2, а поверх ее—более легкая, уд. в. γ_1, не смешивающаяся с первой жидкостью; когда оба колена сообщаются с атмосферой, уровни обеих жидкостей лежат в двух горизонтальных плоскостях, для чего верхние сосуды сообщаются путем открытия крана $а$. Если при измерении, посредством попеременного закрывания и открывания крана $а$ и не изображенного на фиг. крана в колене трубки, приводят верхние поверхности жидкости в уширенных частях к одному уровню, то $h_1 = 0$, и



Фиг. 7.

$$P_1 - P_2 = h_2(\gamma_2 - \gamma_1); \qquad (5)$$

делая разность уд. в. обеих жидкостей малой, можем увеличить точность прибора в желаемой степени. Для наполнения этого М. берут напр. водный спирт уд. в. 0,93 и

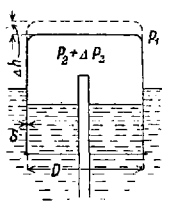
оливковое масло уд. в. 0,916, т. о. $P_1-P_2=0{,}014h_2$. Другой способ работы с этим же прибором состоит в подборе двух жидкостей приблизительно или совсем равного уд. веса и работе при постоянно закрытом кране *а*. Тогда при $\gamma_1=\gamma_2$ разность уровней h_2 будет служить мерой разности уровней в широких сосудах h_1, причем

$$P_1-P_2=h_1\gamma_1=h_2\frac{f}{F}\gamma_1;$$

если $\gamma_1\neq\gamma_2$, именно $\gamma_1<\gamma_2$, то

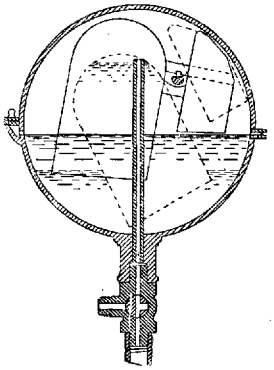
$$P_1-P_2=h_2[\gamma_2-\left(1-\frac{f}{F}\right)\gamma_1]. \qquad (6)$$

Двухжидкостные М. неудобны в том отношении, что граница между обеими жидкостями не резка и кроме того довольно трудно избежать частичного смешения жидкостей и изменения их уд. веса. В качестве жидкостей для М. применяют: воду, керосин, спирт, эфир, толуол, ксилол. От идеальной жидкости требуется незначительный и неизменяемый уд. в., однородность состава, незначительная вязкость, небольшая капиллярная постоянная и малый объемный коэф. *t*°-ного расширения. Керосин и спирт неудобны в том отношении, что более легко испаряющиеся составные части улетучиваются и таким образом изменяется уд. в. жидкости. Вода обладает слишком большой вязкостью. Хорошо зарекомендовал себя толуол.



Фиг. 8.

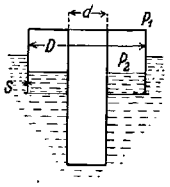
Все жидкостные М. неудобны для применения их в качестве тягомеров в условиях производственной практики, как по причине их чрезвычайной чувствительности, так и потому, что их трудно приспособить для создания указывающих и регистрирующих приборов. Поэтому для производственных тягомеров применяют обычно колокольные, мембранные и кольцевые микроманометры.


Фиг. 9.

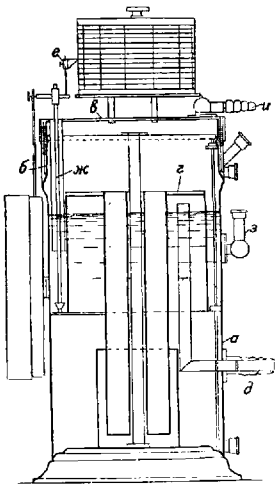
Колокольные М. Принцип действия колокольпого М. изображен на фиг. 8; изменение давления P_2 под колоколом на величину $\pm\Delta P_2$ вызывает подъем или опускание колокола на величину $\pm\Delta h$ (уровень жидкости снаружи колокола считается неизменным). Эти величины связаны между собой следующей зависимостью:

$$\Delta h=\frac{\Delta P_2 D}{4s\gamma}, \qquad (7)$$

где D и s—диаметр и толщина стенок колокола, выраженные в одинаковых мерах. Отсюда видно, что чувствительность М. возрастает с увеличением диаметра колокола и с уменьшением толщины его стенок и плотности жидкости. Колокольные М. пригодны для измерения колебаний разности давлений по обеим сторонам стенок колокола. Конструктивное выполнение указывающего М. приведено на фиг. 9. Для создания самопишущего М. желательна большая сила подъема, что заставляет делать колокол значительного диаметра; принимая во внимание, что толщина стенок не м. б. сделана сколько-нибудь значительной в виду того, что вес колокола получается слишком большим, и на малые разности давлений аппарат вообще не реагирует, видим из ф-лы (7), что М. становится чрезмерно чувствительным; так например для D=400 *мм* и s= = 0,2 *мм* изменение давления на 1 *мм* вод. ст. вызовет изменение положения колокола на 500 *мм*. Дополнительная нагрузка колокола производится пружинами, или же колокол снабжают поплавком. Принцип действия поплавкового колокола заключается в том, что при изменении глубины погружения колокола изменяется объем погруженной части поплавка, что и дает добавочную силу нагрузки. Зависимость между элементами поплавкового колокола (фиг. 10) и изменением давления P_2 выражается следующей ф-лой:



Фиг. 10.

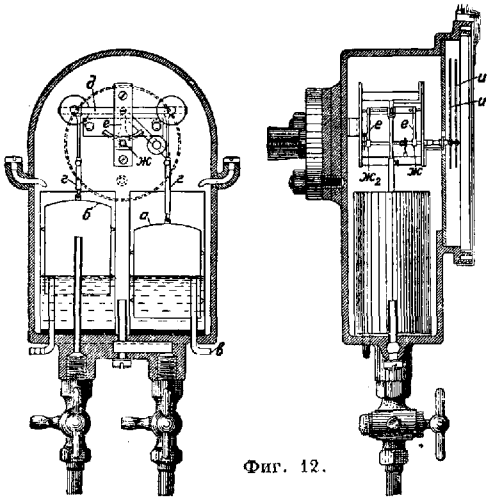


Фиг. 11.

$$\Delta h=\frac{D^2-d^2(1+\gamma)}{\gamma(4Ds+d^2)}\Delta P_2=K\Delta P_2. \qquad (8)$$

Практич. выполнение регистрирующего М. с поплавковым колоколом изображено на фиг. 11: *а* — резервуар *е* герметически закрывающей его при помощи гидравлич. затвора *б* крышкой *в*. Колокол *г*, внутренняя полость которого сообщается трубкой *д* с полостью высшего измеряемого давления, соединен стерженьком *ж* с пером регистрирующего аппарата *е*. Сливная трубка *з* служит для поддержания постоянного уровня жидкости в резервуаре, а патрубок *и*— для присоединения трубки, сообщающейся с полостью низшего измеряемого давления. Делая поплавок переменного сечения, можно изменять значение K в формуле (8) в зависимости от высоты подъема колокола; напр. делая площадь сечения поплавка пропорциональной $\sqrt{h}$, получим величину отсчетов пропорциональной также $\sqrt{h}$, т. е. скорости газов в канале, измеряемой при помощи трубки Пито. Специальный тип М. — дифференциальный тягомер, изображенный на фиг. 12, состоит из двух М. с колоколами *а* и *б*, из к-рых первый соединен открытой трубкой *в* с атмосферой,

а второй — с областью наибольшего из измеряемых разрежений (например с боровом

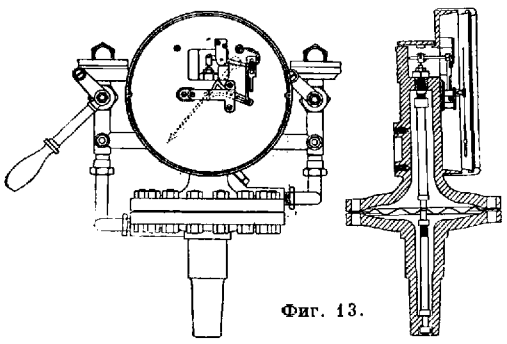


Фиг. 12.

парового котла); пространство внутри кожуха сообщается с областью наименьшего разрежения (напр. топкой котла). Каждый колокол соединен через посредство тяги *г*, уравновешенного противовесом рычага *д* и зубчатого сектора *е* с шестерней *жс*, сидящей на оси отдельной для каждого колокола стрелки *и*; т. о. одна из стрелок показывает разность давлений между двумя исследуемыми областями (напр. топка—боров), а другая—между давлением в одной из областей (напр. в топке) и атмосферой.

Мембранный М. (фиг. 13) представляет собой не что иное, как мембранный манометр с мембраной особо большого диаметра и малой толщины; для возможности измерения разностей давления, пространства как под, так и над мембраной сделаны закрытыми и сообщаются с полостями измеряемых давлений двумя связанными между собой трехходовыми кранами.

Рабочей деталью М. с кольцевым сосудом является кольцевой сосуд *а* (фиг. 14, А) радиуса R и постоянного сечения f, который может качаться вокруг центра на острие *г* и разгорожен сверху переборкой *б*, а внизу столбом жидкости *в* на две полости, сообщающиеся с областями



Фиг. 13.

измеряемых давлений. Пусть жидкость уд.в. γ занимает объем, определяемый центральным углом 2α; при разности давлений $\Delta P=0$ центры тяжести сосуда S (вес его G) и жидкости S_1 (вес ее $G_1=2\alpha Rf\gamma$) лежат на одной вертикальн. прямой, в расстоянии от центра вращения соответственно e и $C=R\frac{\sin\alpha}{\alpha}$. Когда ΔP имеет конечную величину, жидкость будет оттеснена на угол $\Delta\alpha$ (фиг. 14, Б) в сторону меньшего давления, вследствие чего сосуд повернется на угол φ в обратном направлении. Ур-ие равновесия в этом случае будет:

$$Ge\sin\varphi = R\cdot f\cdot\Delta P + 2R^2f\gamma\sin\alpha\cdot\sin\Delta\alpha,$$

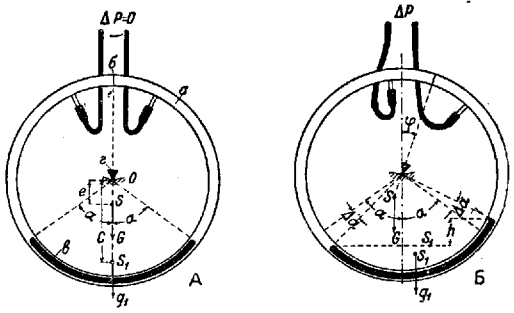
где левая сторона — момент веса сосуда относительно O, а первый член правой—момент разности давлений на перегородку *б*, и второй—момент веса столба жидкости. Разность уровней жидкости h пропорциональна разности давлений ΔP, а именно:

$$h=\frac{\Delta P}{\gamma}=R\cos(\alpha-\Delta\alpha)+R\cos(\alpha+\Delta\alpha)=$$
$$=2R\sin\alpha\cdot\sin\Delta\alpha,$$

откуда

$$\sin\Delta\alpha=\frac{\Delta P}{2R\gamma\sin\alpha}.$$

Подставляя полученное значение $\sin\Delta\alpha$ в уравнение равновесия, получим окончательно уравнение работы кольцевого микроманометра в виде:



Фиг. 14.

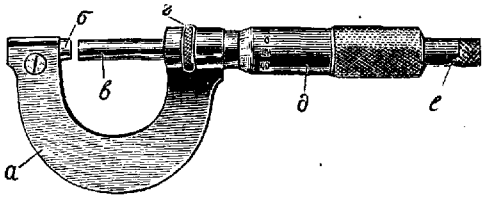
$$\sin\varphi=\frac{2Rf}{Ge}\Delta P=k\Delta P,$$

где k—постоянная прибора. М. с кольцевым сосудом применяется на практике для измерения разности давлений в *паромерах* (см.).

Лит.: Ломшаков А. С., Испытание паровых котлов, 3 изд., Л., 1927; Баулин К. К., Приборы для проверки вентиляционных установок, Сборн. «Вентиляция промышл. предприятий», Москва, 1929; Грамберг А., Технич. измерения при испытании машин и контроле их в производстве, т. 1, вып. 1 и 2, М., 1926; Гронвальд Е., Центробежные вентиляторы, пер. с нем., Харьков, 1928; Ower E., The Measurement of Air Flow, L., 1927. **Л. Павлушков.**

МИКРОМЕЛЕС, мелкоплодник Micromeles alnifolia Koehne, небольшое деревцо или кустарник из сем. розоцветных, произрастает в бассейне р. Амура и в Китае (Манчжурия); в Японии встречается другая его разновидность—M. japonica. Дерево достигает 8—10 *м* и обычно не очень большого диаметра, к-рый в связи с большой вырубкой лесов в этих местах все уменьшается. Древесина коричневато-розового цвета, очень плотная; идет на изготовление чертежных принадлежностей. Дерево довольно хорошо разводится семенами. Свойства древесины М. еще мало изучены. Древесина М. по своим ценным качествам похожа в этом отношении на *береку* (см.). Константы М. см. *Спр. ТЭ*, т. IV, ст. Дерево (№ по индексу 836).

МИКРОМЕТР, шкальный измерительный инструмент, в котором абсолютное значение измеряемой длины определяется углом поворота винта, отсчитываемым на соединен-



ном с винтом барабане. М. обычного типа, применяемый в машиностроении, изображен на фиг., где *а*—скоба микрометра, *б*—упор, *в*—мерительный винтовой шпиндель, *г*—аретир, *д*—отсчетный барабан, *е*—фрикционная головка для ограничения усилия при измерении. Подробности об ошибках при измерении М., о специальных конструкциях и об изготовлении М. см. *Производственные измерения* в машиностроении, см. также *Винт микрометрический*. **Л. Павлушков.**

МИКРОСКОП, оптический прибор для рассматривания предметов в увеличенном виде. М. различаются простые и сложные.

Простой М., или лупа, состоит из одной или нескольких линз, образующих собирательную систему. Предмет помещается между главным фокусом системы и ее первой (от предмета) поверхностью т. обр., чтобы увеличенное мнимое изображение предмета было не ближе расстояния ясного зрения (250 *мм*) от рассматривающего его глаза. Увеличение лупы N (отношение угла, под которым предмет виден в лупу, к тому углу, под которым он виден на расстоянии 250 *мм*) определяется ф-лой:

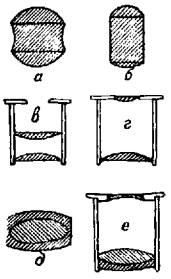
$$N = \frac{250}{F}\left(1 + \frac{x}{X}\right), \qquad (1)$$

где F—фокусное расстояние лупы, x—расстояние главного фокуса лупы (со стороны глаза) от зрачка, X — расстояние изображения предмета от зрачка (все выражено в *мм*). При аккомодации глаза на бесконечность ($X = \infty$), при $x = 0$, или при достаточно малом F (сильная лупа) формула (1) превращается в более простую:

$$N = \frac{250}{F}. \qquad (2)$$

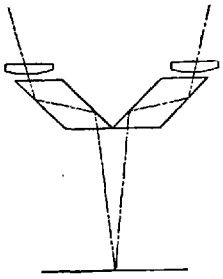
Лупа как оптич. система должна давать резкое, не окрашенное и не искаженное изображение плоского предмета конечных размеров и при больших увеличениях должна обладать достаточно большой *апертурой* (см.). Эти условия весьма близки к требованиям, предъявляемым к фотографич. объективу, но по целому ряду соображений конструкция лупы проще.

Простейшую форму лупы представляет собой обыкновенная собирательная линза. В этом случае для получения большего поля с резким изображением выгодно брать плосковыпуклую линзу, обращенную плоской стороной к глазу. Для ослабления влияния сферической *аберрации* (см.) употребляются лупы из двух плосковыпуклых стекол. Таковы лупы Фраунгофера, Вильсона и др. (фиг. 1, *в* и *г*). Довольно удовлетворительны в смысле резкости изображения по всему полю лупы, представляющие собой сплошную сферу из стекла с диафрагмой в центре—лупы Бюстера, Волластона (фиг. 1, *а*, *б*). Более совершенной является апланатическая лупа Штейнгейля (фиг. 1, *д*), состоящая из двояковыпуклой кронгласовой линзы, к которой с обеих сторон приклеены вогнутовыпуклые флинтгласовые линзы. Она дает отчетливое, свободное от окраски изображение при большом поле зрения. Еще лучшими качествами обладает анастигматическая лупа фирмы Цейсс; эта лупа по своей конструкции близка к фотографическ. объективу. Разновидностью лупы является в е р а н т, служащий для рассматривания фотографич. снимков. Для удобства пользования лупы снабжаются ручкой или специальной оправой для вставления в глазную впадину (лупы часовщиков). Иногда лупы снабжаются штативом с наводкой при помощи кремальеры (препарировочные лупы) и т. д.

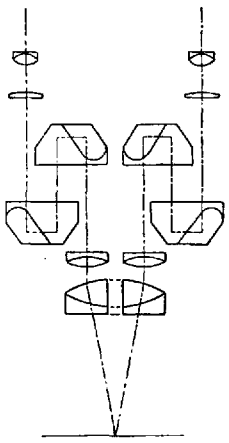


Фиг. 1.

В нек-рых случаях важно иметь при определенном увеличении большое расстояние между лупой и наблюдаемым объектом. Этому условию удовлетворяют лупы системы Шевалье и Брюке (фиг. 1, *е*), состоящие из положительной (собирательной) системы, обращенной к предмету, и отрицательной (рассеивающей), обращенной к глазу. Другой разновидностью такой лупы является Fernrohrlupe Цейсса, состоящая из призматич. зрительной трубки, на объектив к-рой надевается насадка с ахроматической линзой. К прибору прилагается ряд таких линз различных фокусов. Наблюдаемый предмет помещается в главном фокусе добавочной линзы и дает изображение на бесконечности. Это изображение рассматривается при помощи зрительной трубки. Увеличение Fernrohrlupe



Фиг. 2.



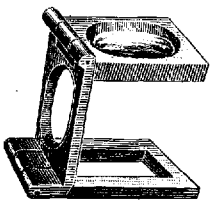
Фиг. 3.

равно увеличению добавочной линзы, рассчитанному по формуле (2), умноженному на увеличение зрительной трубки. Лупы с увеличенным свободным расстоянием от объекта являются переходной ступенью между лупой и сложным микроскопом. Удобство и рельефность зрения обоими глазами привели к устройству бинокулярных луп,

дающих рельефное изображение. Фирма Цейсс строит два типа таких луп: 1) лупы малого (3—4 раза) увеличения (фиг. 2); в них лучи, идущие от предмета, отклоняются двумя призмами специальной формы и попадают затем на две линзы, перед к-рыми помещаются глаза наблюдателя; 2) лупы более сильного увеличения—до 13, построенные на принципе Fernrohrlupe. Они состоят из призматического бинокля (фиг. 3) с малым расстоянием между объективами (увелич. 3—8 раз). На оба объектива бинокля надеваются насадки с комбинациями ахроматич. линзы и призмы, представляющими как бы части одной ахроматич. линзы с диаметром, равным расстоянию между внешними краями насадок. В общем фокусе добавочных линз помещается наблюдаемый предмет. Пучки лучей, попадающие в оба глаза, выходят из предмета под некоторым углом, который зависит от расстояния между объективами бинокля и фокуса добавочных линз, что создает стереоскопич. эффект.

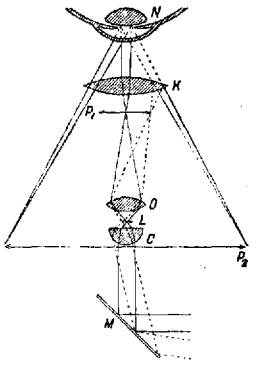
Лит.: Хвольсон О., Курс физики, т. 2, Берлин, 1923; Czapski S. und Eppenstein O., Grundzüge d. Theorie d. optischen Instrumente nach Abbe, 3 Aufl., Lpz., 1924; Rohr M., Die binokularen Instrumente, 2 Aufl., B., 1920; Handb. d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, B. 18, B., 1927; Ehringhaus F., Das Mikroskop, seine wissenschaftlichen Grundlagen u. seine Anwendung, Lpz.—B., 1921. **В. Линник.**

Лупа ткацкая является при работах в ткацком производстве необходимым прибором и должна отличаться большой точностью. Лупами пользуются как при определении плотности ткани, т. е. числа нитей основы и прокидок утка, приходящихся на известную площадь ткани, например на 1 *см*², 1 дм.² и т. п., так и для определения строения ткани, т. е. взаимоотношения между собою основных и уточных нитей. Существует большое разнообразие разного рода конструкций луп, находящихся в зависимости от тех требований, к-рые предъявляются к лупе той или иной конструкции характером работ с тканью, условиями работ и т. п. Наиболее простой и больше всего применяемой для всякого рода ткацких работ является лупа (ткацкий складной глазок), которая изображена на фиг. 4 и представляет собой небольшой прибор, состоящий из трех частей, где верхняя и нижняя части квадратные; в верхней части укреплено круглое увеличительное стекло (увеличение 4—5 раз), а в нижней имеется квадратная прорезь. Размеры этой прорези делаются в $^1/_2$, 1 и 2 *см*², а также в $^1/_4$, $^1/_2$ и 1 дм². Обе части лупы укреплены на шарнирах к особой боковой стенке (стойке), вследствие чего лупа может быть сложена. **С. Молчанов.**

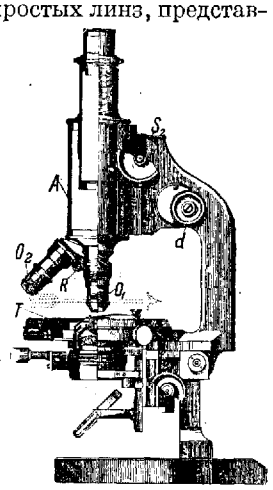


Фиг. 4.

Сложный М. Увеличение, даваемое лупой, редко бывает более 20 раз, в исключительных случаях оно доходит до 100—150 раз, но при таких сильных увеличениях лупа не дает вполне хорошего изображения, т. к. этому препятствуют *аберрации* (см.) линз. Поэтому для получения достаточно большого увеличения без заметных искажений употребляется М., представляющий собою сложную систему линз. На фиг. 5 показан ход лучей в сложном М. Лучи света, отраженные зеркалом *M*, попадают на собирательную систему линз — *конденсор* (см.) *C*, который сводит эти лучи на рассматриваемом предмете *L*. Далее лучи, пропущенные предметом, попадают на вторую систему линз—*объектив* (см.) *O*, который сводит лучи вновь, образуя действительное (объективное) изображение предмета P_1. Лучи, пересекающиеся в точках объективного изображения, входят далее в верхнюю систему линз М.—*окуляр* (см.) *K*, откуда после преломления попадают в глаз *N* наблюдателя. В окуляр видно мнимое изображение, он действует как лупа, сквозь к-рую наблюдатель рассматривает не самый предмет, а его увеличенное действительное изображение P_2. Т. к. объективное изображение является обратным по отношению к предмету, а мнимое изображение в окуляре—прямым, то М. в целом даст обратное изображение предмета. Конденсор, объектив и окуляр, изображенные на фиг. 5 в виде простых линз, представляют собою на самом деле более или менее сложные системы.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

Увеличение, даваемое М., как не трудно видеть, равно произведению увеличений объектива и окуляра в отдельности. Вычисление показывает, что увеличение М. *N* выражается ф-лой:

$$N = \frac{\Delta \cdot l}{f \cdot g}, \qquad (3)$$

где Δ—расстояние между обращенными друг к другу фокусами объектива и окуляра (интервал), l—расстояние наилучшего зрения наблюдателя, а f и g—фокусные расстояния объектива и окуляра. В современных М. увеличение бывает в среднем от 20 до 3 000 раз.

На фиг. 6 показан общий вид М. (левая часть—в разрезе). Предмет помещается между предметным стеклом и тонким покровным стеклом на предметном столике *T*. Объективы O_1, O_2 привинчиваются к револьверу *R*, позволяющему вращательным движением ставить один объектив вместо другого. Револьвер в свою очередь привинчен к раздвижному тубусу *A*, в верхнюю часть к-рого помещается окуляр. Установка М. на ясное зрение достигается перемещением всего тубуса

при помощи зубчатки S; тонкая установка производится движением микрометрич. винта d, устроенного различным образом в М. различных систем.

Окуляр М. в простейшем случае представляет собою т. н. окуляр Гюйгенса, состоящий из двух собирательных линз, заключенных в общую трубку. Лучи, идущие от объектива к объективному изображению, перехватываются нижней линзой этого окуляра, так что объективное изображение получается между обеими окулярными линзами; этим достигается то, что в верхнюю «глазную» линзу окуляра, к-рая и служит лупой для объективного изображения, попадает больше лучей, вследствие чего увеличивается поле зрения. Внутри окуляра Гюйгенса в том месте, где получается объективное изображение, помещается *диафрагма* (см.).

Наиболее существенной частью М. является объектив. Т. к. окуляр дает увеличенное изображение не самого предмета, а действительного, даваемого объективом изображения, то это последнее д. б. по возможности свободно от недостатков, а потому объектив д. б. сконструирован т. о., чтобы давать возможно совершенное изображение. Чем больше увеличение линз, тем заметнее их аберрации, и потому тем более совершенной д. б. конструкция объектива. Объектив д. б. прежде всего исправлен на хроматическую *аберрацию* (см.). Обычные ахроматические объективы (см. *Ахроматическая система стекол*) исправлены для двух разноцветных лучей, т. н. *апохроматы* (см.)—для трех. В первых исправление хроматической аберрации осуществлено только для одной зоны объектива, во вторых—для всех зон. Промежуточное положение между обоими видами объективов занимают т. н. полуапохроматы. Апохроматы свободны от хроматич. аберрации только в том смысле, что изображения в трех разных цветах совпадают; величина же этих изображений несколько различна. Этот последний недостаток обычно исправляется особой системой окуляра, т. н. компенсационным окуляром, без которого апохромат не употребляется.

Исправление сферической *аберрации* (см.) наиболее полно достигается в апохроматах, менее полно—в ахроматах. Объектив М. должен представлять собою *апланатическую систему стекол* (см.). Условием апланатизма является т. наз. условие синусов:

$$n \sin \alpha = v \sin \beta;$$

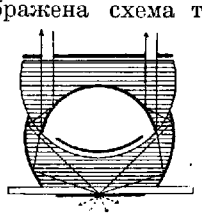
здесь α—угол между оптической осью и лучом, идущим от точки предмета, расположенной на оси, к нек-рой точке объектива; β—угол между осью и сопряженным лучом, идущим к точке изображения; v—увеличение объектива; n—показатель преломления среды между объективом и покровным стеклом; при обычных условиях в т. н. сухих объективах, когда данная среда есть воздух, $n=1$, в иммерсионных объективах (см. ниже) $n>1$. При наилучшем исправлении недостатков объектива один недостаток остается неисправленным, а именно плоскость, перпендикулярная к оптич. оси, изображается не плоскостно, вследствие чего центр поля зрения и его края не бывают одновременно в фокусе. Наилучшее исправление недостатков объектива достигается при определенной длине выдвигающегося тубуса. Для объективов Цейсса и Рейхерта эта длина должна быть равна 160 *мм*, для объективов Лейтца—170 *мм*, для объективов английских фирм—250 *мм*.

При исправлении сферич. аберрации объектива приходится принимать во внимание и преломление света у верхней поверхности покровного стекла. При этом толщина стекла принимается 0,16—0,18 *мм*. При другой толщине для достижения наименьшей аберрации несколько изменяется длина тубуса, а в нек-рых специальных объективах меняется расстояние между отдельными линзами (коррекционная оправа).

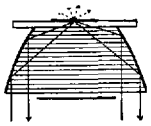
Яркость объективного изображения пропорциональна пространственному углу того конуса лучей, к-рый сходится к точке изображения из объектива; если половина отверстия этого конуса есть β, то пространственный угол пропорционален $\sin^2\beta$, т. е. на основании приведенного выше условия синусов, пропорционален $\frac{n^2 \sin^2 \alpha}{v^2}$ (α — угол между оптической осью и лучом, идущим от предмета к краю объектива). Выражение $A=n \sin \alpha$ есть т. н. апертура объектива. Т. о. яркость изображения пропорциональна квадрату апертуры и обратно пропорциональна квадрату увеличения. Отсюда следует, что яркость тем больше, чем больше n; этим и объясняется выгода иммерсии, т. е. помещение между покровным стеклом и нижней (фронтальной) линзой объектива капли жидкости. В качестве такой жидкости берется вода, а еще чаще—кедровое масло. При этом требуется и особый иммерсионный объектив. Кедровое масло как иммерсионная жидкость имеет еще и другое значение. Показатель преломления его путем соответственного приготовления делается равным показателю преломления покровного стекла и фронтальной линзы объектива. Благодаря этому избегается потеря света при отражениях от верхней поверхности покровного стекла и нижней поверхности фронтальной линзы. Такого рода иммерсия называется «гомогенной». Как указано выше, яркость изображения измеряется квадратом отношения апертуры к увеличению объектива. Поэтому при больших увеличениях яркость изображения требует и большей апертуры; для этого конус света, входящий в объектив, д. б. по возможности широким, а это в свою очередь достигается осветительной системой, конденсором, к-рый посылает на освещенную точку также широкий конус света. Другими словами, апертура конденсора д. б. достаточно велика.

Обычно предмет виден в М. потому, что задерживает часть попадающего на него света; это относится к предметам непрозрачным или окрашенным, которые кажутся темнее окружающего их светлого фона. Прозрачный предмет виден благодаря неодинаковому показателю преломления по сравнению с окружающей средой, вследствие чего такой предмет также выделяется на светлом фоне темными краями. Если же на предмет падает слишком много лучей под большим

наклоном к оптич. оси, то предмет сам разбрасывает эти лучи во все стороны (блестит), вследствие чего его контраст со светлым фоном становится слабее и предмет виден хуже. Поэтому слишком широкий конус лучей от конденсора может быть и вреден, тогда его уменьшают, регулируя отверстие диафрагмы, помещаемой под конденсором (обычно т. наз. ирисовой диафрагмы). Понятно, что апертура конденсора не д. б. больше, чем апертура объектива. При слабых объективах с небольшой апертурой для освещения предмета конденсор является излишним, и достаточно вогнутого зеркала. Если наблюдаемый предмет очень мал, то вследствие *дифракции* (см.) света световые волны огибают его и предмет на светлом фоне делается невидимым. Граница видимости определяется т. о. не увеличением М., а величиной дифракции, т. е. длиной световой волны. Если же предмет освещен сбоку лучами, непосредственно не попадающими в объектив, то благодаря свету, рассеянному предметом, последний кажется светлым на темном фоне. Такой М. с боковым освещением называется ультрамикроскопом. В простейшем случае боковое освещение достигается таким косым положением зеркала М. или диафрагмы под конденсором, чтобы освещающий пучок света шел мимо объектива. Но это возможно только при объективах небольшой апертуры. В противном случае следует световой пучок направлять не от зеркала, а независимо от него, перпендикулярно к оптич. оси М. Для той же цели наблюдения на темном поле служат ультраконденсоры. На фиг. 7 изображена схема так наз. кардиоид-конденсора Цейса, причем стрелками



Фиг. 7.



Фиг. 8.

показан ход падающих лучей. Оптическое действие другого распространенного типа ультраконденсоров, параболоид-конденсора ясно из фиг. 8. Апертура таких конденсоров гораздо больше апертуры объектива; при этом средние лучи осветительного конуса загорожены и на предмет не попадают, а попадают на него только крайние лучи конуса, к-рые настолько наклонены к оптич. оси, что проходят мимо объектива. Эти лучи и рассеиваются предметом, заставляя его блестеть на темном фоне.

Мелкие частицы, наблюдаемые в ультрамикроскоп при темном поле, посылают рассеянный свет в объектив. При этом вследствие дифракции светящиеся точки изображаются в объективном изображении не точкой, а светлым кружком, окруженным более бледными светлыми кольцами. Форма кружка обусловлена круглой формой отверстия объектива, радиус же кружка, как показывает вычисление, равен $0{,}61 \cdot v \cdot \frac{\lambda}{A}$, где λ—длина световой волны, v и A—увеличение и апертура объектива. Отсюда следует, что всякую светящуюся точку, видимую под М., надо принимать за кружок радиуса ϱ, определяемого по ф-ле:

$$\varrho = 0{,}61 \cdot \frac{\lambda}{A}.$$

Отсюда следует далее, что всякий мелкий светящийся предмет под М. должен казаться кружком радиуса ϱ, а следовательно М. не позволит нам определить его истинную форму и размер. Кроме того, если две частицы находятся между собой на расстоянии меньше 2ϱ, диффракционные кружки сливаются между собой и две частицы не кажутся разделенными. Величина ϱ называется поэтому величиной разрешающей способности М. Как видно из ф-лы, разрешающая способность зависит не от увеличения М., а от апертуры. Разрешающая способность М. может быть рассчитана и для того случая, когда наблюдаемый предмет виден не благодаря рассеянному им свету, а вследствие того, что он задерживает свет и потому кажется темным на светлом фоне. Если такой предмет обладает тонкой структурой, то в нем происходит диффракция света, подобная той, которая имеет место в диффракционной решетке. При этом вблизи верхнего фокуса объектива образуются диффракционные спектры, форма и расположение к-рых зависят от формы и размеров структуры предмета. В плоскости объективного изображения, рассматриваемой через окуляр, имеет место *интерференция* (см.) света, исходящего из всех диффракционных спектров. Теория, данная Аббе, показывает, что положение полос интерференции, получающихся в плоскости объективного изображения, не зависит от длины световой волны, т. е. эти полосы при белом освещении д. б. также белыми. Их расположение тем более похоже на рассматриваемую структуру, чем больше диффракционных спектров образовалось в фокальной плоскости объектива. Т. о. видимое в М. изображение структуры есть интерференционное явление.

Теория Аббе не является исчерпывающей, но приводит к важному практическому следствию. Для того чтобы в М. данная структура была видна, необходимо, чтобы по крайней мере первый диффракционный пучок от структуры попал в объектив, т. е. чтобы в фокальной плоскости объектива образовался хотя бы первый диффракционный спектр. При этом если освещающий пучок света направлен вдоль оптич. оси, то первый диффракционный пучок, направляясь в край объектива, должен образовать с осью угол α, определяемый апертурой объектива. Ф-ла диффракционной решетки дает в этом случае для первого спектра

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{n\delta},$$

где δ—размер структуры решетки, длина же световой волны принята равной $\frac{\lambda}{n}$, где λ—длина волны в воздухе, n—показатель преломления среды между объективом и покровным стеклом. Отсюда наименьший видимый размер структуры δ, т. е. разрешающая способность М., определяется ф-лой:

$$\delta = \frac{\lambda}{n \sin \alpha} = \frac{\lambda}{A},$$

где A попрежнему изображает апертуру. Можно показать, что при косом освещении разрешающая способность увеличивается еще в два раза, т. е.

$$\delta = \frac{\lambda}{2A}.$$

Получаемая ф-ла близка к той, которая получена для рассеивающих свет предметов. Предел разрешающей способности определяется величиной апертуры, которая не м. б. больше n, и длиной волны. Для уменьшения λ, а вместе с тем и наименьшего размера видимой структуры δ, прибегают иногда к ультрафиолетовым лучам, заменяя глаз фотографич. аппаратом.

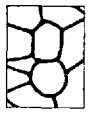
Для специальных целей употребляются и специальные виды М. Так, для рассматривания непрозрачных предметов, напр. структуры металлов (см. *Металлография*), употребляются М. с верхним освещением предмета. При близких расстояниях объектива от предмета освещающий пучок падает на предмет сквозь линзы объектива. При этом требуются особые объективы, рассчитанные для употребления без покровного стекла. Для кристаллографических целей, при необходимости рассматривать предмет в поляризованном свете, употребляется поляризационный М., снабженный поляризатором и анализатором (см. *Поляризационные приборы*).

Для целей микропроекции и микрофотографии, чтобы получить действительное изображение, пользуются часто микроскопом с одним только объективом без окуляра. Для получения при этом более широкого пучка света из объектива, а потому и большего поля зрения, тубус М. делают более широким. Можно однако получать действительное изображение и через окуляр, если поднять тубус М. настолько, чтобы объективное изображение приходилось ниже фокуса окуляра.

В последнее время входят в употребление т. н. панкратические «карманные» М., в которых изменение увеличения достигается не сменой объективов и окуляров, а изменением длины тубуса. Такие М. дают увеличение до 250 раз и в сложенном виде занимают очень мало места. М. со слабым увеличением употребляется для отсчетов делений на кругах астрономич. инструментов и на других измерительных приборах.

Лит.: Хвольсон О. Д., Курс физики, т. 2, Берлин, 1923; Циммерман А., Микроскоп, Руководство к научной микроскопии, СПБ, 1896; Marshall C. R. a. Griffith H. D., An Introduction to the Theory and Use of the Microscope, L., 1928; Scheffer W., Das Mikroskop, Lpz., 1914; Ehringhaus A., Das Mikroskop, seine wissenschaftlichen Grundlagen u. seine Anwendung, Lpz., 1921; Metzner P., Das Mikroskop, Lpz., 1928 (обширная литература). **А. Млодзеевский.**

МИКРОСТРУКТУРА, строение материала, видимое только при некотором увеличении. В технике М. называется строение металла или сплава, видимое при рассматривании шлифа в микроскоп с увеличением от 10 до 5 000 раз. Структура обусловливает свойства металла и сплава (см. *Металлография*), напр. если компонент сплава, образующий сетку (на фиг.—черные линии), будет вязкий, а зерна (на фиг.—белые пространства) будут хрупкие, то материал с такой структурой будет вязкий, при обратном же явлении—хрупкий. В зависимости от физич. состояния сплава М. бывают различны. На вкладн. л., *48* (см. *Металлография*) показана М. чистого металла, представляющая некоторую сетку. Ту же структуру имеют смешанные кристаллы, т. е. металлы, образующие твердый раствор. Сплавы металлов, не образующих твердых растворов и образующих эвтектику, имеют строение, показанное на вкл. л., *1—6*, *38*, *39*. При концентрациях, отличных от эвтектических, избыточный компонент выделяется структурно-свободным (вкл. л., *3*, *5*, *41—44*). Размер отдельных составляющих М. зависит от скорости выделения их из раствора, т. е. от скорости охлаждения (вкл. л., *27—29*, *35*, *36*) и механич. обработки при температуре ниже $t°$ рекристаллизации (вкл. л., *30—33*). Для различения структур, неразрешаемых микроскопом, применяют метод анализа в рентгеновских лучах, причем кристаллы таких структур, являясь диффракционной решеткой, дают диффракционные пятна, по положению которых можно сделать заключение о расположении атомов в кристаллах металла (вкл. л., *49—58*) и о размерах самих кристаллов.



Шлифы для изучения М., полученные способом, данным в металлографии, нуждаются в проявлении, к-рое делается при помощи протравы. Для железных сплавов методы протравы указаны в Промстандарте 141, для шлаковых включений метод определения неметаллич. включений в железных сплавах указан по Кемпелю и Комштоку [1]. Для нежелезных сплавов протравы см. [2,3]. Картина структуры, видимой под микроскопом, зависит значительно от осветительного устройства микроскопа; на вкладном листе, *59*, *60* указаны снимки с вертикальным (*59*) и боковым (*60*) освещением (×1 200). О протраве и нововведениях в области сильных увеличений см. [4].

Лит.: [1]) Орга-справочник, 2 изд., т. 2, М., 1927; [2]) Czochralski J., Moderne Metallkunde in Theorie u. Praxis, Berlin, 1924; [3]) Werkstoff-Handbuch, Nichteisenmetalle, B., 1927; [4]) Benedicks C., Metallographic Researches, N. Y., 1926.—См. также *Металлография*. **Н. Грачев.**

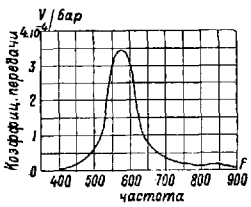
МИКРОТИПИЯ, репродукция с фотографии микроскопич. препарата.

МИКРОФАРАДА, единица измерения электрич. емкости, равная одной миллионной *фарады* (см.). Сокращенное обозначение: μF.

МИКРОФОН, устройство для превращения звуковых колебаний в электрические. Непосредственная передача речи или музыки возможна лишь на ограниченные расстояния. Поэтому когда приходится делать передачу звуков на большие расстояния или просто усиливать их, то является целесообразным звуковую энергию превратить в электрическую, так как последнюю более удобно передавать и возможно усиливать во много раз. После передачи и усиления электрич. энергия вновь преобразуется в звуковую, воспринимаемую ухом. *Звук* (см.) представляет собою колебания частиц среды, различные по частоте и интенсивности. Для передачи внятной речи нужен диапазон частот f от 300 до 2 400 пер/ск.[1], для музыки и других художественных передач необходи-

мый диапазон расширяется от $f=80$ до $f=8\,000 \div 10\,000$ [2]. М. при передаче речи или музыки должен превращать звуковую энергию в электрическую равномерно во всем диапазоне частот, и конструкция его должна быть такова, чтобы он при этом не вносил искажений. Коэф. передачи М., т. е. отношение получаемого напряжения в V на зажимах к переменному звуковому давлению в барах*, воздействующему на мембрану, должен оставаться постоянным во всем звуковом диапазоне частот и притом при различных силах звука.

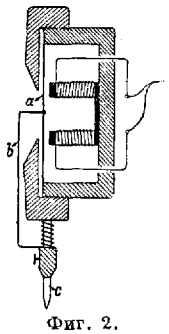
Электромагнитные М. Простейшим и давно известным микрофоном этого типа является электромагнитный телефон. При действии звука железная мембрана колеблется с частотой звуковых колебаний, то удаляясь, то приближаясь к полюсам постоянных магнитов, благодаря чему изменяется магнитный поток и в обмотках катушек М. индуктируется эдс. Обыкновенно применяют мембраны толщиной 0,2—0,3 *мм*, обладающие сравнительно большой массой, а также резко выраженными резонансными свойствами. М. этого типа вносят большие искажения и имеют малый коэф. передачи (см. фиг. 1, откуда видно, что коэф-т передачи сильно зависит от частоты, что и ведет к искажениям); применяются в военном деле (форпостные телефоны, к-рые одновременно являются и М.).



Фиг. 1.

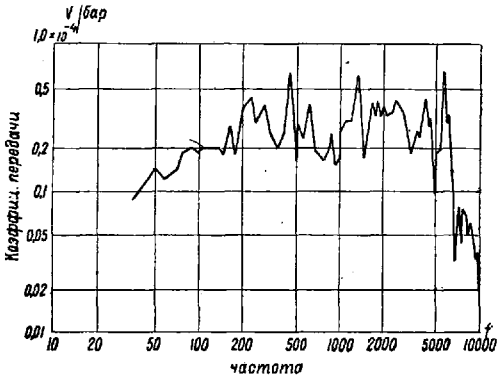
За последнее время электромагнитные М.-адаптеры широко применяются также для передачи граммофонной музыки. При этом мембрана М. *a* (фиг. 2) при помощи рычага *b* связывается с граммофонной иглой *c*. При передаче игла *c* движется по граммофонной пластине и передает свои колебания мембране М. Колебания мембраны получаются столь большие, что напряжения на зажимах М. достигают ок. 1 V и выше.

Электродинамический М. Принцип действия этого М. основан на том, что если проводник, расположенный в постоянном магнитном поле, колеблется под действием звука, то в нем индуктируется эдс. На этом принципе построено несколько типов М. Практически в СССР и за границей имеют распространение только М.: ленточный и Сайкс-Раунд-Маркони.



Фиг. 2.

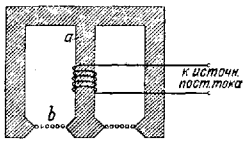
Ленточный М., разработанный фирмой Сименс и Гальске [3], состоит из рифленой алюминиевой ленты (см. *Громкоговоритель*, фиг. 7). Под действием звука лента колеблется в сильном магнитном поле, и на ее концах образуется эдс. Последняя очень мала (имеет несколько μV), поэтому после такого М. ставится усилитель в несколько каскадов, и включение М. к усилителю производится через трансформатор с коэф. трансформации не менее 1:100. Ленточный М. передает широкий диапазон частот от $f=30$ до $f=7\,000$ [4] (фиг. 3), и кроме того напряжение на его зажимах прямо пропорционально



Фиг. 3.

величине звукового давления, действующего на ленту; поэтому он практически при передаче не вносит искажений и получил большое применение в радиовещании.

М. сист. Сайкс-Раунд-Маркони [5] имеет применение в СССР и за границей (изготовляется Всесоюзным электротехнич. объединением, фиг. 4). В кольцевом междуполюсном пространстве горшкообразного электромагнита (Topfmagnet) *a* находится плоская кольцевая катушка *b*, состоящая из витков тонкой проволоки, проклеенных резиновым раствором, и являющаяся т. о. упругой мембраной. Катушка висит свободно между полюсными наконечниками и колеблется под действием звука. Так как, в противоположность ленточному микрофону, здесь имеется большое количество витков, то можно от катушки мембраны подать напряжение непосредственно на сетку усилительной лампы без трансформатора, что является большим преимуществом.



Фиг. 4.

Угольные М. Наиболее простым, чувствительным и давно известным М. этого класса является угольный М. В принципе он состоит (фиг. 5) из двух угольных электродов: *a* — неподвижного и *b* — мембраны, между которыми насыпаны угольные зерна. В спокойном состоянии сопротивление М. между электродами равняется R_0 и в цепи течет ток

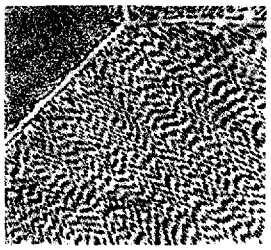
$$i_0 = \frac{E}{R_0} \qquad (1)$$

(пренебрегая малым сопротивлением батареи и катушки). При возбуждении слабым, чисто синусоидальным током частоты ω сопротивление возрастает и колеблется около величины $R > R_0$, по закону $R + r \sin \omega t$, и сила тока выражается так:

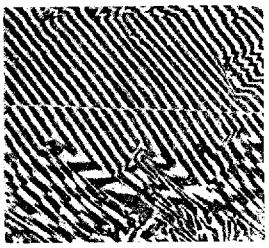
$$I = \frac{E}{R + r \sin \omega t}, \qquad (2)$$

где r — амплитуда переменного сопротивления. Это выражение можно разложить в ряд

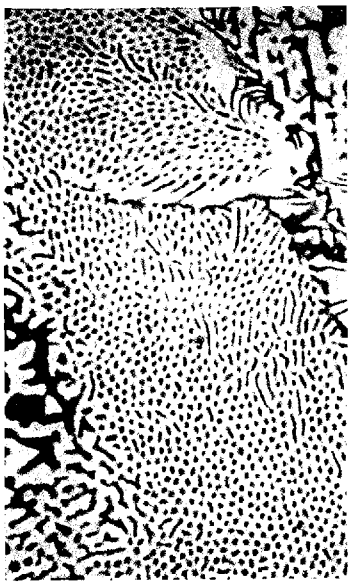
* Бар=дина/см².



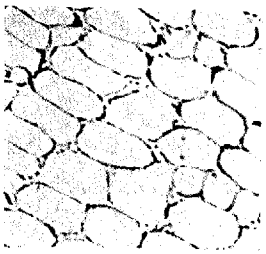
1 (×120)



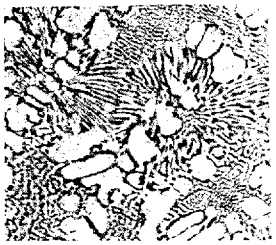
×136)



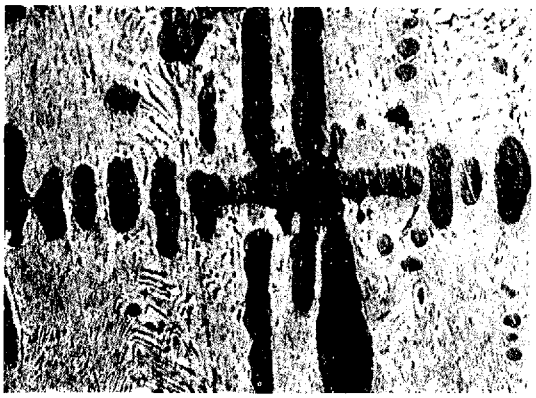
3 (×430)



4



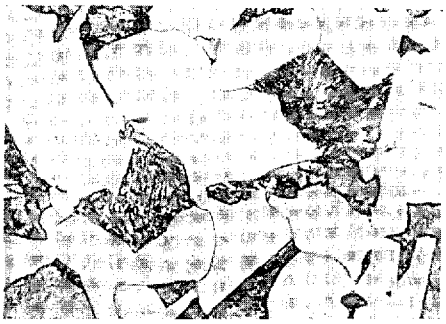
5



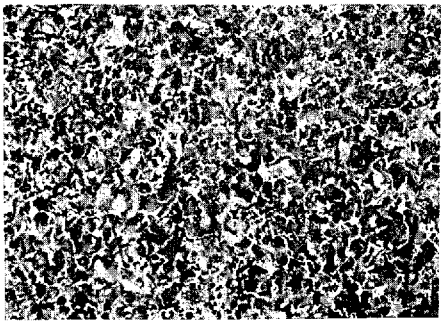
6



7 (×150)

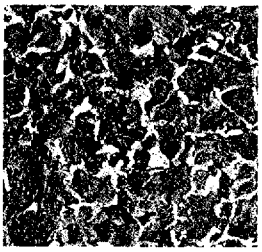


8 (×600)



9 (×40)

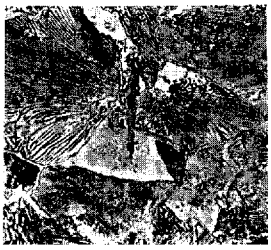
1—3. Образцы структур эвтектич. сплавов: *1*—81% Ni+19% P (атомные %); *2*—88% Mg+Sn; *3*—ледебурит (4,3% C+95,7% Fe; весовые %). *4—6.* Образцы структур до- и заэвтектоидных сплавов (эвтектика—63% Sn и 37% Pb): *4*—85% Sn+15% Pb; *5*—74% Sn+26 Fb; *6*—45% Sn+55% Pb. *7—9.* Сплав доэвтектоидный (железоцементит, Fe—Fe_3C); на фоне эвтектоида выделился доэвтектоидный компонент (феррит на фоне перлита); протрава 1% HNO_3.



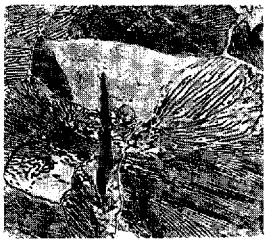
10 (×150)



11 (×600)



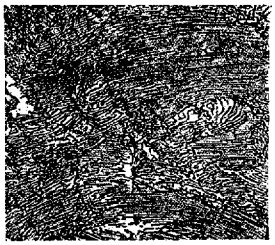
12 (×600)



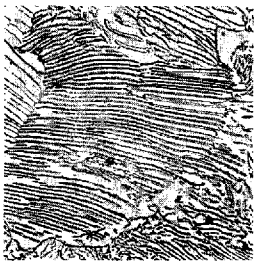
13 (×1200)



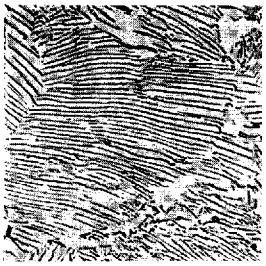
14 (×1200)



15 (×600)



16 (×1200)



17 (×1200)



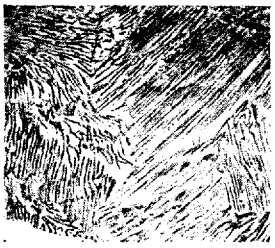
18 (×150)



19 (×600)



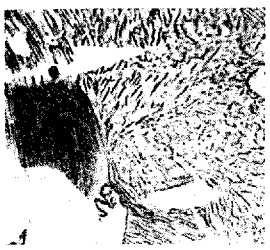
20 (×1200)



21 (×1000)

10—12. Сплав доэвтектоидный (железо—цементит, Fe—Fe_3C); на фоне эвтектоида выделился доэвтектоидный компонент (феррит на фоне перлита); протрава 1% HNO_3. *13—15.* Сплав заэвтектоидный (Fe—Fe_3C); на фоне перлита выделился цементит: *13*—протрава 1% HNO_3; *14*—тот же шлиф—цементит черный; протрава пикрат натрия. *16—17.* Перлит: *16*—протрава 1% HNO_3; *17*—протрава пикрат натрия. *18—20.* Перлит при разных увеличениях: одно и то же место шлифа, на что указывает включение в центре (шлак). *21.* Видоизменение структуры перлита (0,45% С) в зависимости от скорости охлаждения образца. Нормализованная сталь (остывание на воздухе с 900°); феррит и пластинчатый перлит.

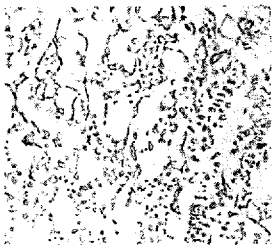
ТРЕСТ „ГЕОКАРТОГРОМ"



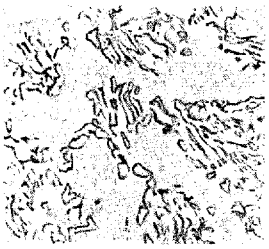
22 (×1000)



23 (×1000)



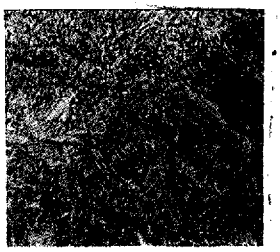
24 (×1000)



25 (×1000)



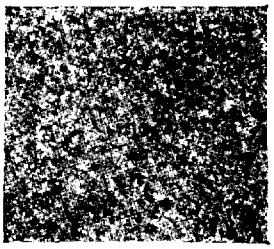
26 (×1000)



27



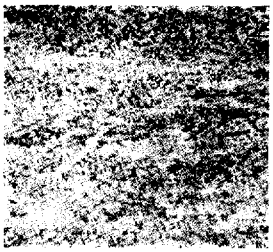
28



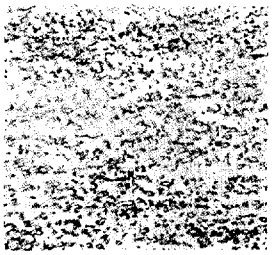
29



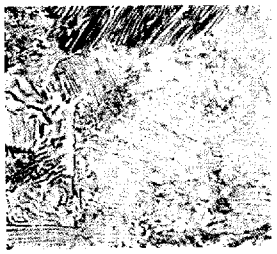
30 (×1000)



31 (×1000)

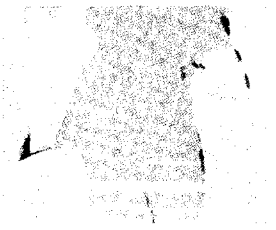


32 (×1000)

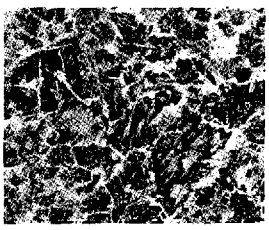


33 (×1000)

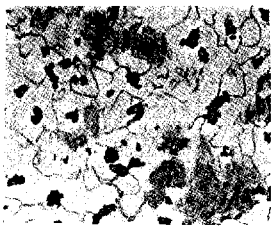
22—26. Видоизменение структуры перлита (0,45% C) в зависимости от скорости охлаждения образца: *22*—медленное остывание в области A_{r1}; часть перлита собирается в шарики; *23*—очень медленное остывание в области A_{r1}; феррит и зернистый перлит; *24* холоднообработанный образец, после долгой выдержки (несколько часов) в области A_{c3} и очень медленно остуженный; распадение цементита с выделением крупнозернистого цементита; *25*—то же с еще большей выдержкой в интервале критич. температур; структурносвободный цементит на фоне феррита (но не перлита); *26*—тот же шлиф, но травленный пикратом натрия; цементит окрасился в черный цвет. *27.* Структура мартенсита; закалка при t^0 A_{c3}+30°; штрихи указывают на напряженное состояние металла. *28.* Тот же шлиф, но нагретый до 250° (отпуск); переход распадающегося мартенсита в троостит (темные пятна). *29.* Тот же шлиф; отпуск 650°; структура очень мелко раздробленного перлита—сорбит. *30—33.* Изменения от нагрева холоднопротянутой проволоки (0,75% C): *30*—протянутая проволока с сорбитовой структурой, шлиф вдоль цытяжки; нагрев до 200—300° структуры не изменяет; благодаря такой обработке металл обладает большим врем. сопрот. на разрыв (K_z=150 *кг/мм²*) и высокими упругими свойствами; *31*—то же после ½-час. нагрева до 500° и охлаждения на воздухе—точечный перлит (сорбит). Структурносвободный феррит начинает собираться в отдельные кристаллы; K_z=125 *кг/мм²*; *32* то же после ½-час. нагрева до 650° (зернистый перлит); дальнейшее коагулирование цементита и перекристаллизация феррита; K_z=83 *кг/мм²*; *33* то же после нормализации пластинчатый перлит; K_z=78 *кг/мм²*.



34 (×100)



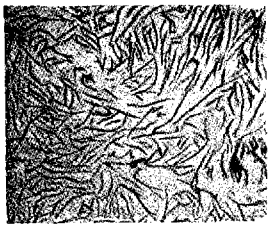
35 (×100)



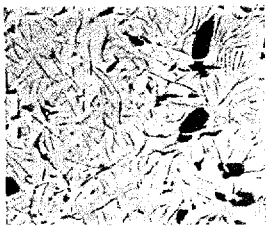
36 (×100)



37 (×200)



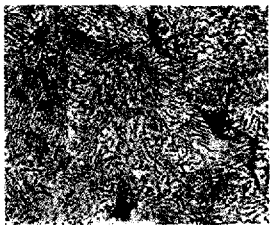
38 (×20)



39 (×20)



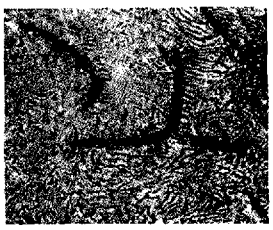
40 (×19)



41



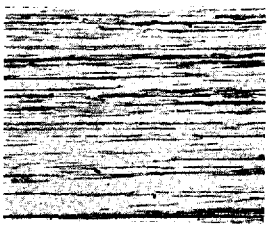
42



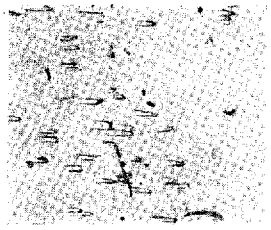
43



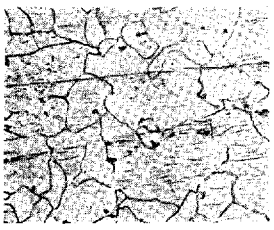
44



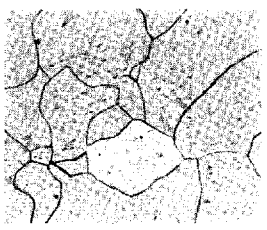
45



46

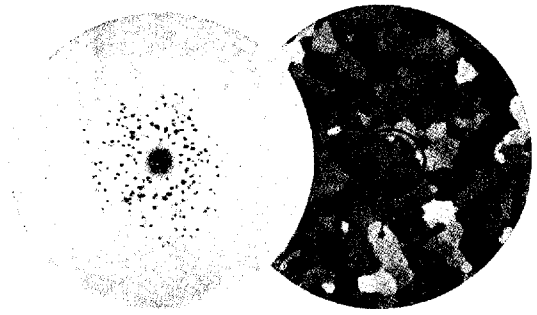


47



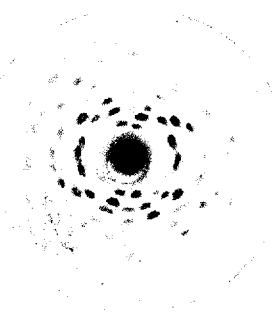
48

34. Сталь (24% Ni, 0,5% C); двойниковый кристалл аустенита. *35*. Сталь (1,47% C), нормализованная; иглы и сетка цементита на фоне перлита. *36*. То же после 72-час. нагрева при 800°; разложение структурносвободного цементита на феррит и углерод отжига ($Fe_3C = 3Fe + C$); цементит в структуре перлита не разложился. *37*. Чугун с 3,5% C; углерод (3,1% C) выделился в свободном состоянии (графит); 0,4% C образовали перлит; феррит в структурносвободном состоянии; низкие механич. качества чугуна. *38* и *39*. Эвтектика графитистого чугуна ($Fe + C$). *40*. Заэвтектический чугун; на фоне графитной эвтектики избыточные кристаллы (черные полосы) графита. *41—44*. Перлитографитный чугун (перлитный чугун, сталистый); структурносвободного феррита нет. Чугун очень высоких механич. качеств; $K_z = 35-40$ *кг/мм²*, удлинение до 8%. *45—48*. Изготовление шлифов: *45*—шлиф с наждачной бумаги 000000; резкие штрихи от наждака; *46* — то же, плохо проведенная полировка; оба шлифа (*45*, *46*) без протравы; *47* — шлиф протравленный негоден; *48* — тот же (*47*) шлиф, хорошо подготовленный и протравленный; чистое железо.

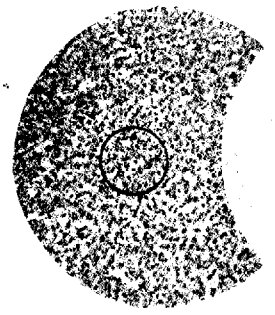


49

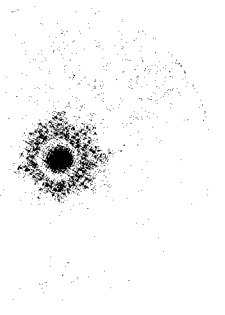
50



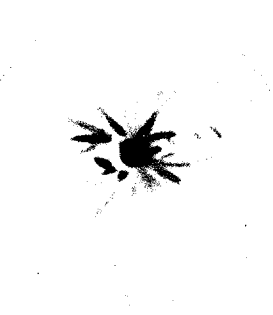
57



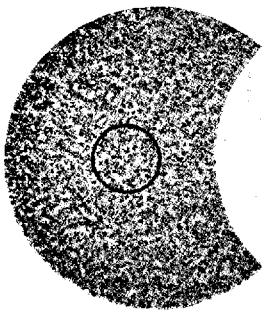
51



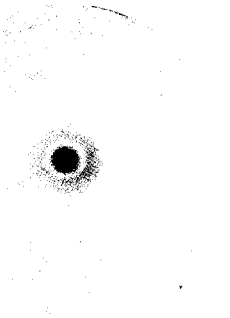
52



58



53



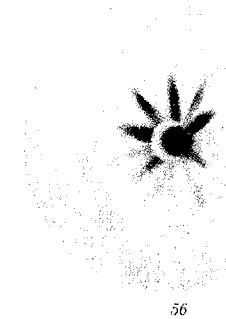
54



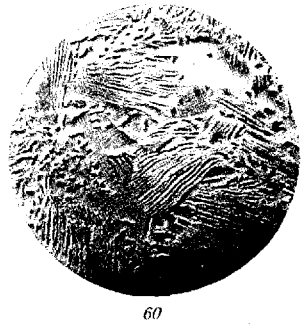
59



55



56



60

49—58. Рентгенограммы. Диффракционный метод (Лауэ) — просвечивание рентгеновскими лучами дает возможность, не изготовляя шлиф, определить размеры кристаллов образца: чем крупнее кристаллы в образце, тем резче диффракционные пятна. Один кристалл (*55*) дает точное геометрич. расположение диффракционных пятен, соответствующее расположению атомов в кристаллической решетке: *49* — дает мелкие пятна, беспорядочно расположенные (как и кристаллы на пути луча); *50* — луч пронизывает ок. 120 кристаллов; *51—52*—то же, но поле покрыто 2000 кристаллов; соответственно пятна мельче; *53—54* — то же с ~ 1000000 кристаллов; вместо пятен—ореол; *55—56*—рентгенограмма деформированного на холоду кристалла (*56*); астеризм (звезда) вместо пятен (*55*); *57—58*—изгиб кристалла; направление лучей астеризма указывает направление усилия при деформации. *59—60*. Доэвтектоидная сталь; освещение нормальное (*59*) и боковое (*60*); полоски цементита, как более твердые, выступают над ферритом (углубления).

Фурье, содержащий члены с частотой ω, 2ω, 3ω и т. д. [6]:

$$I = I_0 + I_1 \sin \omega t + I_2 \cos 2\omega t + \ldots, \quad (3)$$

где

$$I_0 = \frac{E}{\sqrt{R^2 - r^2}},$$

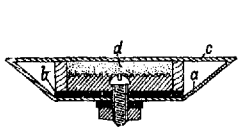
$$I_1 = \frac{2E}{\sqrt{R^2 - r^2}} \cdot \frac{\sqrt{R^2 - r^2} - R}{r},$$

$$I_2 = \frac{-2E}{\sqrt{R^2 - r^2}} \left(\frac{\sqrt{R^2 - r^2} - R}{r}\right)^2.$$

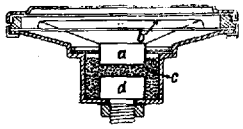
Перемен. ток основн. частоты независимо от свойств мембраны только тогда свободен от высших гармоник, когда r мало по сравнению с R, т. е. когда М. нечувствителен или слабо возбуждается. Поэтому угольные М., предназначенные для передачи музыки, где важна чистота передачи, делают по конструкции малочувствительными; для М. же, передающих обыкновенный разговор, это требование играет не столь существенную роль, и при конструировании их стремятся достигнуть наибольшей чувствительности даже за счет качества передачи. На фиг. 6 изображен обыкновенный М. для передачи разговора, состоящий из капсуля a, на дне к-рого прикреплена угольная колодка b; сверху капсуль закрывается угольной мембраной c и между мембраной и колодкой насыпан угольный порошок d в виде зерен; чтобы порошок не рассыпался, вокруг уголка колодки до самой мембраны кладут мягкий войлок. Чувствительность М. большая—



Фиг. 5.



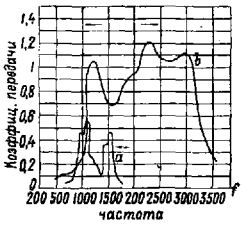
Фиг. 6.



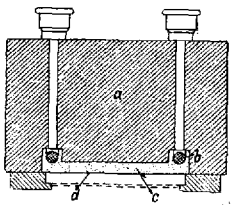
Фиг. 7.

при преобразовании звуковой энергии в электрическую они дают усиление до 30 раз, но вносят большие искажения и не могут применяться для передачи музыки. М. такой конструкции имеют еще тот недостаток, что при горизонтальном положении в них получается обрыв контакта. В момент обрыва появляются между контактами вольтовы дуги и происходит спекание порошка. Во избежание этого за последнее время подвижный электрод погружают в порошок. На фиг. 7 представлен М. с погружающимся электродом a [7] с мембраной из тонкой фольги из сплава алюминия конич. формы b (d—неподвижный электрод, c—угольный порошок). На фиг. 8 приведены кривые коэф-тов передачи прежнего устройства (a) и нового (b) М. с алюминиевой мембраной (коэф. передачи в условных единицах). Последний благодаря облегченной мембране особой формы имеет бо́льшую чувствительность и передает более широкую полосу частот.

Одним из лучших угольных М. для передачи музыки является М. сист. Рейса (фиг. 9), устроенный т. о.: в полости массивного прямоугольного куска мрамора a (на передней стороне) имеется углубление, по обеим сторонам которого вставлены угольные электроды b, служащие для подводки тока. Вся полость заполняется особо изготовленным



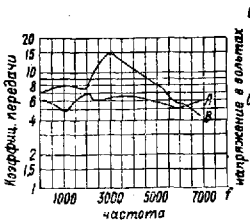
Фиг. 8.



Фиг. 9.

угольным порошком c, затем она закрывается резиновой (или слюдяной) мембраной d толщиной в несколько сотых *мм*. Это препятствует не только выпадению порошка, но и проникновению сырости, что имеет важное значение для хорошей работы М. На резиновую пленку натягивается сетка из шелкового газа и обе они плотно прижимаются к мрамору рамкой из эбонита. Отдача М. в сотни раз меньше обыкновенного угольного М., но зато он передает широкий диапазон частот (фиг. 10) и имеет, можно считать, прямолинейную зависимость между звуковым давлением и эдс М. (фиг. 11); благодаря этому, а также в виду простоты обслуживания, этот М. получил очень большое применение как в СССР, так и за границей в радиовещании (на фиг. 10 и 11 кривая A относится к М. большого размера, кривая B—к М. малого размера).

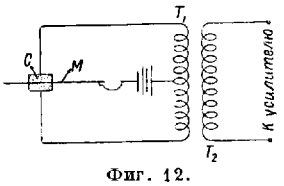
Важным недостатком угольных М. является наличие т. н. нелинейных искажений, происходящих от несимметричного изменения сопротивления при движении мембраны внутрь и кнаружи. Эти искажения сводятся к тому, что чистый тон превращается в звук с большим количеством обертонов, а при звучании двух или большего числа тонов образуется в цепи М. целый ряд комбинационных тонов, частоты к-рых составляют комбинации сумм и разностей входящих тонов. Сложные комбинационные тоны могут сделать передачу музыкальных вещей совершенно неузнаваемой. Нелинейные искажения очень велики в простом угольном М., они слабее в М. сист. Рейса.



Фиг. 10. Фиг. 11.

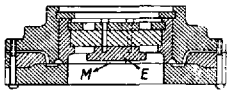
Двойной М. позволяет почти совершенно избавиться от нелинейных искажений. Идея устройства двойного М. дана на фиг. 12. В нем угольная мембрана M колеблется между двумя слоями угольного порошка C, и каждая из половин образованного т. о. М. действует на половину первичной обмотки T_1 трансформатора. Во вторич-

ной обмотке T_2 трансформатора токи, индуктируемые двумя половинами первичной обмотки, складываются. Т. о. достигается полная симметрия работы М. в обе половины периода и уничтожается причина нелинейных искажений. Двойной микрофон широко применяется в американских широковещательн. станциях.



Фиг. 12.

Конденсаторный М. Превращение звуковой энергии в электрическую возможно также методом конденсаторного М. При действии звука изменяется емкость конденсаторного М., у которого одна или обе обкладки представляют собою мембраны. В простейшем случае одна обкладка является мембраной, а другая—неподвижным электродом. Такой микрофон сконструирован Венте (фиг. 13) [8]. Чрезвычайно сильно натянутая стальная мембрана M толщиной 0,05—0,07 *мм* (собственная частота такой мембраны лежит выше музыкального спектра) находится на расстоянии 0,02 *мм* от неподвижного круглой формы электрода E, представляющего вторую обкладку. Трение воздуха в узком промежутке дает сильное затухание и повышает собственную частоту мембраны. Рассмотрим схему включения микрофона (фиг. 14). При слабом возбуждении микрофона синусоидальным тоном можно принять, что емкость его будет изменяться по тому же закону:



Фиг. 13.

$$C = C_0 + C_1 \sin \omega t, \qquad (4)$$

где C_0—емкость М. в спокойном состоянии, а C_1—амплитуда переменной емкости, малая по сравнению с C_0. Выражение для тока в цепи будет

$$E - Ri = \frac{1}{C}\int i\,dt. \qquad (5)$$

Путем подстановки в ур-ие (5) значения C из ур-ия (4) и дифференцированием по t получается:

$$(C_0 + C_1 \sin \omega t)\, R\frac{di}{dt} +$$
$$+ (1 + RC_1\omega \cos \omega t)\, i - EC_1\omega \cos \omega t = 0.$$

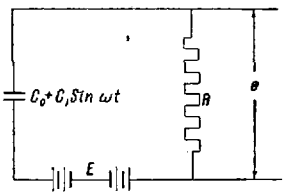
Решение ур-ия (5) [9], если пренебречь третьей и высшими степенями величины $\frac{C_1}{C_0}$, имеет вид

$$i = \frac{EC_1 [\sin(\omega t + \varphi_1)]}{C_0\sqrt{\left(\frac{1}{C_0\omega}\right)^2 + R^2}} - \frac{EC_1^2 R [\sin(2\omega t + \varphi_1 - \varphi_2)]}{C_0^2\sqrt{\left[\left(\frac{1}{C_0\omega}\right)^2 + 4R^2\right]\left[\left(\frac{1}{C_0\omega}\right)^2 + R^2\right]}} \qquad (6)$$

Следовательно при синусоидальном звуковом возбуждении получается чистый синусоидальный ток тогда, когда C_1 мало по сравнению с C_0; тогда получается напряжение на концах сопротивления R:

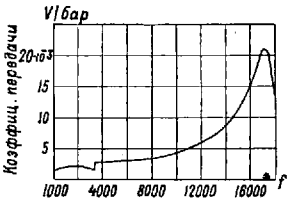
$$E = iR = R\frac{EC_1}{C_0\sqrt{\left(\frac{1}{C_0\omega}\right)^2 + R^2}}. \qquad (7)$$

Из приведенных выше ур-ий ясно видно, что конденсаторный М. работает по принципу реле, переменное напряжение возрастает пропорционально постоянному напряжению. Увеличение чувствительности повышением постоянного напряжения ограничивается возможностью пробоя конденсатора, чему благоприятствуют влажность и частички пыли. По данным работы Венте на конденсаторный М. при расстоянии между его пластинами 0,02 *мм* безопасно давать постоянные напряжения 400 V. Коэфициент передачи М. сист. Венте мал (фиг. 15), но в музыкальном спектре частот его можно считать мало зависящим от частоты; собственная частота мембраны находится около $f = 17\,000$.

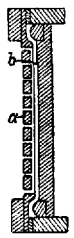


Фиг. 14.

Большое применение имеет второй тип конденсаторного М., разработанного Риггером [10] (фиг. 16). Он состоит из неподвижной обкладки a, имеющей узкие щели, и другой обкладки b, представляющей собою тончайшую алюминиевую фольгу, расположенную между двумя слоями тонкой шелковой материи. От мембраны b как с одной, так и с другой стороны на близком расстоянии находятся твердые стенки благодаря чему при колебании образуются как бы воздушные подушки, вследствие чего собственная резонансная частота мембраны, как и в М. Венте, оказывается очень высокой. М. сист. Риггера можно включать по указанной выше схеме, но обычно он включается по схеме фиг. 17 как емкость в анодный контур лампового генератора высокой частоты, с которым индуктивно связывается контур сеткания второй лампы. Вторая лампа работает как детектор. Пусть колебательный контур в цепи сетки настроен на частоту f_0 и генератор высокой частоты доставляет колебания, к-рые можно переменным конденсатором C, включенным параллельно конденсаторному М., получить той же частоты f_0. Если изобразить графически силу индуктированного тока I в контуре сетки лампы в зависимости от изменения емкости C в колебательном контуре генераторной лампы, то получится воспроизведенная на фиг. 18 резонансная кривая. Установив в колебательном контуре генератора емкость равной C_0, получим в контуре сетки ток I_0. Во время разговора мембрана конденсаторного микрофона будет колебаться, этим самым изменяя емкость колебательного контура, благодаря чему в контуре сетки второй лампы ток будет колебаться около средней величины I_0, т. е. незатухающие колебания лампового генератора модулируются в соответ-

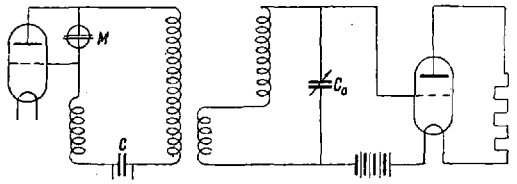


Фиг. 15.



Фиг. 16.

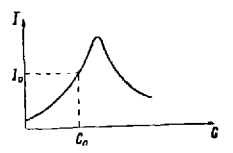
ствии с звуковыми колебаниями, действующими на конденсаторный М. Т. к. вторая лампа работает как детектор, то в анодной



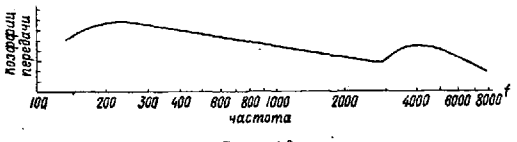
Фиг. 17.

цепи ее получится переменный ток, форма кривой к-рого подобна форме звуковых колебаний. Разобранная схема включений не вносит искажений и сильно увеличивает отдачу М. На фиг. 19 и 20 приведены частотная и амплитудная кривые М.; из них видно, что коэф. передачи М. для частот музыкального спектра можно считать постоянным и зависимость напряжения V от звукового давления P совершенно линейна. Конденсаторные М. системы Риггера и Венте вследствие своих исключительно хороших качеств с успехом применяются для концертных передач, а также в звуковом кино.

Термомикрофоны. Тонкая (толщиной несколько μ) накаленная постоянным током платиновая проволока вносится в звуковое поле. Звуковые волны падая будут ее охлаждать и следовательно изменять ее сопротивление в такт звуковым колебаниям. Происходящим от этого колебаниям тока соответствует колебание напряжения на концах включенного в эту цепь сопротивления или трансформатора, которое подводится затем к соответствующему усилителю. Теоретическое и экспериментальное исследование термомикрофонов произведено Гиппелем и Ветцманом [11]. Практич. значения в технике связи термомикрофоны не имеют; применяются они для опытных целей звукоулавливания в военной технике [12] и для акустич. измерений.



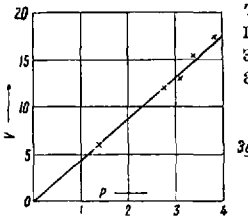
Фиг. 18.



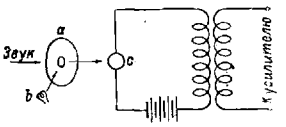
Фиг. 19.

Световой М. [13]. Этот М. основан на свойстве фотоэлемента менять ток в цепи, в к-рую он включен, при изменении интенсивности освещения. Схематич. устройство светового микрофона следующее (фиг. 21). В центре легкой мембраны a укреплено маленькое зеркальце. Колеблющаяся система делается легкой с собственной частотой, лежащей гораздо выше звуковых частот. Пучок света от источника b падает на зеркальце, к-рым он отбрасывается на фотоэлемент c. При колебаниях мембраны под воздействием звука сила освещения фотоэлемента меняется, вследствие чего меняются и его сопротивление и сила тока в цепи, причем зависимость силы тока от силы освещения строго линейна. Вызванные так. обр. изменения напряжения через трансформатор подводятся к усилителю. Световые М. точно воспроизводят звук и являются весьма совершенными аппаратами для передачи музыки.

Газовые М. [13]. Устройство газовых М. основано на явлении переноса электричества посредством ионов между двумя электродами. Переменные звуковые давления изменяют ионный поток, который создает т. о. изменения в величине постоянного тока. Этот эффект используется газовым М.—катодофон фирмы Лоренц (фиг. 22). Катодом служит тело k из окиси кальция, накаливаемое до желтого цвета посредством вложенной спирали из платины. Против него помещается перфорированный анод a, с которым соединяется рупор R для улавливания звуковых волн. Между анодом и катодом вклю-



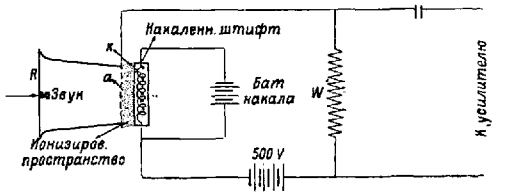
Фиг. 20.



Фиг. 21.

чается через высокоомное сопротивление W батарея в 500 V. При расстоянии в 0,5 мм между электродами получается ток в 0,2 mA. Сила его изменяется от интенсивности звука. Преимущество катодофона в том, что он не имеет мембраны; здесь приводятся в движение лишь воздушные массы, так что этот М. можно считать свободным от инерции. Эдс, наводимая в цепи катодофона, пропорциональна амплитуде смещений частиц в звуковой волне, т. е. при одинаковом звуковом давлении эдс обратно пропорциональна частоте. Для избежания искажений катодофон должен иметь усилитель с коэф-том усиления, прямо пропорциональным частоте [14]. Однако у него есть нек-рые недостатки. Разложение окиси вследствие влажности воздуха и высокой $t°$ обусловливает малую продолжительность службы М.

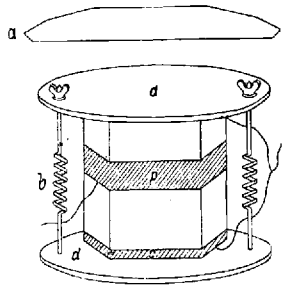
Пьезоэлектрические М. [15]. Возможно превращение звуковой энергии в электрическую использованием пьезоэлектрич. эффекта. Известно, что в нек-рых кристаллах при давлении или растяжении создается электрическое напряжение. Этим свойством обладают в сильной степени кристаллы кварца, турмалина, сегнетовой соли, сахара, виннокаменной кислоты и пр. Ясно, что при



Фиг. 22.

помощи пьезоэффекта можно получить микрофонный эффект, если кристалл снабдить электродами и воздействовать на него переменным звуковым давлением. Опыты с кри-

сталлич. М. из сегнетовой соли были впервые произведены в 1919 году Никольсоном в США [16]. Кристалл сегнетовой соли (размерами в несколько *см*), имеющий форму призмы *a* своеобразного сечения (фиг. 23) с плоскими основаниями, зажимается посредством пружинного зажима *b*, сдавливающего его с силой нескольких килограммов. В сжатом состоянии этот кристалл очень чувствителен к добавочному переменному давлению и кручению. Электродами служат: металлич. пояс *p* посреди кристалла и два основания *c* (верхнего на фиг. 23 не видно), соединенные вместе. Звуковое давление воздействует на мембрану, натянутую в виде цилиндрич. оболочки на сжимающие кристаллы диски *d*. Мембрана у Никольсона была сделана из золотобитной кожи. Пьезомикрофоны пока не приобрели практич. значения [12].



Фиг. 23.

Лит.: [1]) Fletcher, «Bell System Technical Journal», N. Y., 1922, p. 129; [2]) Wagner K. W., «Elektrotechn. Ztschr.», 1924, p. 451; [3]) Gerlach E., «Phys. Ztschr.», Lpz., 1924, p. 675; Schottky, ibid., p. 672; [4]) Hartmann C. A., Elektrotechn. Nachrichten, Eisonach, 1927, H. 9; [5]) Шмаков П., Принципы радиотелефонии, стр. 17, М., 1930; [6]) Waetzmann, «Phys. Ztschr.», Lpz., 1914, p. 638; Waetzmann, «Ztschr. f. Physik», Brschw., 1920, p. 271; [7]) Grunsted W. H., «Telephony», 1929, *23*, p. 32; [8]) Wente E. C., «Phys. Review», Lancaster, N. Y., 1922, p. 498, 1917, p. 39; Яковлев, «ТиТбП», 1928, стр. 600; [9]) Wente, «Phys. Review», Lancaster, N. Y., 1917, p. 39; [10]) Riegger, «Wiss. Veröffentl. a. d. Siemens Konz.» B., 1924, p. 67; [11]) Hippell, «Ann. d. Physik», Lpz., 1924, p. 521; Hippell, «Ztschr. f. Physik», Brschw.—B., 1925, p. 716, «Ann. d. Physik», Lpz., 1924, p. 521; Waetzmann E., ibid., 1925, p. 39; Waetzmann E., «Ztschr. f. Phys.», Brschw.—B., 1924, p. 110, 1925, p. 50, 131; [12]) Tuckera Paris, «Philos. Trans. of Roy. Soc. of London», L., 1921, v. 221 A, p. 389; [13]) Weichart, «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1926, p. 126; Lee de Forest, «La Nature», 1923, p. 739; [14]) Meyer E., «Elektrische Nachrichten-Technik», B., 1929, B. 6, p. 1; [15]) Russel, «Electr. Review», L., 1923, p. 92; Яковлев и Иванов, «Вестник теоретич. и экспер. электротехники», М., 1928, стр. 470; [16]) Nicolson A., «Proc. of the Amer. Inst. of Electr. Eng.», N. Y., 1919, v. 38, p. 1315. **К. Бебяков.**

МИКРОФОТОГРАФИЯ, см. *Фотография.*

МИКРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, или микроанализ, особая методика химического анализа, позволяющая работать с весьма малыми количествами вещества, часто даже не поддающимися исследованию обычными методами аналит. химии (методами «макроанализа»). Преимущества М. а. перед обыкновенным анализом, кроме более широкой применимости, заключается гл. обр. в его высокой чувствительности, точности, надежности и значительной экономии времени и реактивов. Качественный М. а. позволяет открывать большинство химич. элементов в количествах 0,1—0,001 *мг* (1 *мг* = 0,001 *мг*), количественный М. а.—исходить из навески в 2—10 *мг*. М. а. находит наибольшее практич. применение в органич. и физиологич. химии, в медицинских (анализ мочи, крови и т. п.) и судебно-медицинских исследованиях, а также при анализе всякого рода редких, трудно доступных или опасных в обращении веществ (например сильно ядовитых или взрывчатых). За последние годы М. а. получил значительн. распространение в минералогии, в горно-разведочном деле и в производственной технике—для анализа минералов, горных пород, минерального сырья, стекла, технич. металлов и сплавов; в этих случаях химич. исследование нередко соединяют с микрометодами определения физич. констант—уд. веса, твердости, показателя преломления и т. д.

Качественный М. а. Выполнение качественного М. а. в большинстве случаев (но не всегда) связано с применением микроскопа, позволяющего наблюдать образование кристаллических осадков при реакциях (в капле жидкости) и отмечать форму, вид и величину кристаллов, скорость их роста и характерное расположение, цвет, светопреломляющие свойства, отношение к поляризованному свету, растворимость и т. д. Эти т. н. кристаллореакции являются специфич. принадлежностью М. а. и играют в нем наиболее важную роль. Кроме того в М. а. пользуются и другими характерными, как осадочными, так и красочными, реакциями на отдельные элементы, ионы, группы и соединения, применяемыми в обычном химическом анализе, с соответственным лишь изменением их методики в сторону повышения чувствительности.

Методика работы. Для качественных микрореакций берется одна капля раствора, наносимая при помощи проволочной петли на стеклянную пластинку. Осаждающий реактив вводится чаще всего в твердом виде; для этого крупинку его вносят при помощи платиновой иглы в каплю у самого ее края. Кристаллизация образующегося осадка, наблюдаемая под микроскопом, постепенно распространяется внутрь капли, причем на нек-ром расстоянии от крупинки реактива кристаллы достигают максимальной величины. Если реактив берется в жидком виде, то каплю его помещают на стекло рядом с каплей исследуемого раствора и соединяют их тонким штрихом, проведенным иглой: кристаллизация начинается в точке соприкосновения жидкостей и по мере их диффузии медленно распространяется в обе стороны. Хорошее кристаллообразование наблюдается только при определенной концентрации взятых растворов. Для отделения осадка от жидкости (напр. при промывании его) отводят иглой в сторону прозрачную часть капли и затем наклонением стекла дают капле стечь, или же отсасывают жидкость капиллярным сифоном. Высокодисперсные, не пристающие к стеклу микроосадки отделяют исключительно центрифугированием, после чего осветленную жидкость над осадком удаляют капиллярной пипеткой. При исследовании смесей или веществ неизвестного состава необходимо производить систематич. анализ, т. е. выделять определенные группы элементов и исследовать их (после отделения) микрохимич. путем. При этом чаще всего применяют обычное разделение на аналитич. группы, пользуясь общими приемами качественного анализа и употребляя лишь соответственно уменьшен-

ные количества воды и реагентов. Групповое осаждение производят в пробирках с заостренным концом и в них же центрифугируют и промывают осадки. Реже применяется фильтрование (под давлением). Из других операций в М. а. часто применяется возгонка, позволяющая освободить вещество от примесей и получить его в характерных кристаллах. Возгонку производят между двумя плоскими стеклами, разделенными кольцом из асбестового картона; для более высоких $t°$ нижнее (нагреваемое) стекло заменяется платиновой пластинкой; сложные органич. вещества (напр. алкалоиды) иногда возгоняют в вакууме, что требует более сложной аппаратуры. Красочные реакции в жидкой среде, применяемые довольно часто, не представляют каких-либо особенностей; если окрашивание в капле мало заметно, то каплю втягивают в капилляр и просматривают вертикально через лупу или микроскоп при слабом увеличении. В ряде случаев очень отчетливые красочные реакции получаются на волокне, для чего пропитывают реактивом шелковую, льняную или хл.-бум. нитку и затем погружают ее в пробную каплю.

Аппаратура. Аппаратура качественного М. а. несложна и очень портативна. Существенной принадлежностью ее является микроскоп с 80—250-кратным увеличением, достаточно большим фокусным расстоянием (т. к. каплю наблюдают б. ч. без покровного стекла) и широким полем зрения; при некоторых исследованиях применяется также поляризационный микроскоп. Второй необходимый прибор—маленькая центрифуга с ручным приводом, дающая 2 000—3 000 об/мин. Кроме этого требуются: предметные стекла (27×40 *мм*), иенские часовые стекла (диам. 3 *см*), пробирки ($7{,}5 \times 50$ *мм* и 6×30 *мм*), капиллярные трубки, стеклянные палочки (диам. 2 *мм*), пипетка с тонко оттянутым кончиком и резиновым шариком, фарфоровая чашечка (диам. 3 *см*), игла из платиновой проволоки диам. 0,5 *мм*, набор петель из такой же проволоки, с диаметром ушка 2—4 *мм* (для дозировки жидких реактивов), платиновый шпатель, такая же ложечка (служит тиглем) и микрогорелка. При реакциях, сопровождаемых выделением HF, предметные стекла покрывают коллодием (или вместо них берут пластинки из целлона), а объектив микроскопа защищают, приклеивая к нему кусочек покровного стекла, смоченный каплей глицерина.

Реактивы. Набор реактивов для М. а. определяется в значительной мере характером объектов, поступающих на исследование. Важнейшими реактивами, необходимыми во всяком наборе, являются: обычные к-ты и щелочи, хлористые соли натрия, калия, рубидия, цезия, аммония, магния, ртути ($HgCl_2$), золота ($AuCl_3$) и платины ($PtCl_4$), иодистый и иодноватокислый калий, фтористый кальций, нитрит калия, нитраты калия, таллия ($TlNO_3$), серебра и висмута, сульфаты натрия, калия и цезия, карбонат и бикарбонат натрия, фосфат натрия, бихроматы калия и аммония, роданистые калий и аммоний, железистосинеродистый калий, перекись водорода, перекись натрия, уксусная кислота, ацетаты натрия, магния, кальция, стронция, бария, свинца, кобальта, меди и уранила (UO_2), щавелевая кислота, оксалат калия (средний и кислый), винная к-та, тартрат натрия, пиридин, диметилглиоксим, бензидин солянокислый, нитрон-ацетат. По мере надобности этот список дополняется другими реактивами. М. а. органич. веществ требует большого числа специальных реактивов. Все реактивы, за исключением минеральных к-т и щелочей, сохраняются в твердом виде, в склянках емкостью 3—5 $см^3$ с пришлифованными крышками, помещаемых в небольшом ящике с гнездами.

Важнейшие микрореакции неорганич. ионов. Ниже указаны только конечные продукты реакций, т. е. состав осадков, получаемых введением необходимых ионов (из реактивов, перечисленных выше) в жидкость, содержащую открываемый ион. В скобках дана чувствительность реакции, указывающая наименьшее количество элемента в *мг*, открываемое в одной капле пробы.

А. Реакции на металлы. **NH_4:** открывается выделением в виде хлороплатината, $(NH_4)_2PtCl_6$ (0,1 *мг* NH_4).—**Li:** в виде ортофосфата, Li_3PO_4 (0,4 *мг* Li), карбоната, Li_2CO_3 (0,25 *мг*) или флюорида, LiF (0,25 *мг*).—**Na:** в виде фторосиликата, Na_2SiF_6 (0,16 *мг*), Na-уранилацетата, $Na(UO_2)(CH_3{\cdot}COO)_3$ (0,8—0,1 *мг*), Na-Bi-сульфата, $3\,Na_2SO_4 \cdot 2\,Bi_2(SO_4)_3$ (0,04 *мг*), пироантимоната, $Na_2H_2Sb_2O_7 \cdot 6H_2O$ или хлороплатината, Na_2PtCl_6.—**K:** в виде фосфорномолибденовокислого калия, $K_3PO_4 \cdot 10\,MoO_3 \cdot 3\,H_2O$ (0,3 *мг*), K-Bi-сульфата, $(3\,K_2SO_4) \cdot Bi_2(SO_4)_3$ (0,2 *мг*), K-Cu-Pb-нитрита, $K_2CuPb(NO_2)_6$ (0,15 *мг*), хлороплатината, K_2PtCl_6 (0,3—0,1 *мг*) или перхлората, $KClO_4$ (0,1 *мг*).—**Be:** в виде K-Be-оксалата, $BeC_2O_4 \cdot K_2C_2O_4$ (0,08 *мг*).—**Mg:** в виде аммоний-Mg-ортофосфата, $NH_4MgPO_4 \cdot 6\,H_2O$ (0,05—0,01 *мг*) или пироантимоната, $MgH_2Sb_2O_7 \cdot 9\,H_2O$.—**Ca:** в виде оксалата, $CaC_2O_4 \cdot H_2O$ (0,06 *мг*), сульфата (гипса), $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ (0,05—0,04 *мг*), тартрата, $CaC_4H_4O_6 \cdot 4\,H_2O$ (0,03 *мг*), иодата, $Ca(JO_3)_2$ или Na-Ca-карбоната, $CaCO_3 \cdot Na_2CO_3 \cdot 5\,H_2O$.—**Sr:** в виде оксалата, SrC_2O_4 (0,8 *мг*), хромата, $SrCrO_4$ (0,8—0,5 *мг*), сульфата, $SrSO_4$ (0,4 *мг*) или иодата, $Sr(JO_3)_2$ (0,1 *мг*).—**Ba:** в виде фторосиликата, $BaSiF_6$ (0,1 *мг*), хромата, $BaCrO_4$ (0,08 *мг*), сульфата, $BaSO_4$ (0,05 *мг*), иодата, $Ba(JO_3)_2$.—**Zn:** в виде дипиридин-Zn-дибромида, $Zn(C_5H_5N)_2Br_2$ (1 *мг*), Zn-Hg-роданида, $Zn(CNS)_2 \cdot Hg(CNS)_2$ (0,1 *мг*), дипиридин-Zn-дироданида, $Zn(C_5H_5N)_2(CNS)_2$ (0,05 *мг*), Na-Zn-карбоната, $8\,ZnCO_3 \cdot 3\,Na_2CO_3 \cdot 8H_2O$ (0,05—0,01 *мг*) или в виде оксалата, ZnC_2O_4.—**Cd:** в виде Cd-Hg-роданида, $Cd(CNS)_2 \cdot Hg(CNS)_2$ (1 *мг*), оксалата, $CdC_2O_4 \cdot 3\,H_2O$ (0,4—0,3 *мг*) или Rb-Cd-хлорида, $CdCl_2 \cdot 4\,RbCl$ (0,05—0,01 *мг*).—**Hg$^{\cdot}$:** открывается выделением в виде хромата, Hg_2CrO_4 (0,5 *мг*), хлорюра, HgCl (0,25 *мг*) или в виде металлической ртути (возгонка). **Hg$^{\cdot\cdot}$:** в виде иодида, HgJ_2 (0,1—0,07 *мг*) или Co-Hg-роданида, $Hg(CNS)_2 \cdot Co(CNS)_2$ (0,05—0,04 *мг*).—**Al:** в виде фтористого аммония-алюминия, $AlF_3 \cdot 3\,NH_4F$ (0,3 *мг*), калиевых квасцов, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12\,H_2O$ (0,3—0,2 *мг*), цезиевых квасцов, $CsAl(SO_4)_2 \cdot 12\,H_2O$ (0,1—0,08 *мг*), в виде ализаринового лака с ализариновым красным S (ализаринсульфоновокислым Na) (0,005 *мг*) или же при помощи цветной мориновой реакции (в спиртовом растворе морина—зеленая флуоресценция).—**Sn:** в виде Cs-Sn-хлорида, $SnCl_4 \cdot 2\,CsCl$ (0,2 *мг*) или Rb-Sn-хлорида, $SnCl_4 \cdot 2\,RbCl$ (0,2—0,1 *мг*).—**Pb:** в виде хлорида, $PbCl_2$ (0,3 *мг*), иодида, PbJ_2 (0,2 *мг*), хромата, $PbCrO_4$ (0,15—0,08 *мг*), Cs-Cu-Pb-нитрита, $Cs_2CuPb(NO_2)_6$ (0,03 *мг*) или K-Cu-Pb-нитрита, $K_2CuPb(NO_2)_6$ (0,01 *мг*).—**As:** в виде трехиодистого мышьяка, AsJ_3 (1 *мг*), аммоний-Ca-арсената, $NH_4CaAsO_4 \cdot 6\,H_2O$ (0,5—0,1 *мг*), аммоний-Mg-арсената, $NH_4MgAsO_4 \cdot 6\,H_2O$ (0,1—0,04 *мг*), мышьяковомолибденовокисл. аммония. $(NH_4)_3AsO_4 \cdot 10\,MoO_3 \cdot 3\,H_2O$ (0,2 *мг*) или мышьяковистого ангидрида, As_2O_3 (возгонка).—**Sb:** в виде антимонилоксалата, $(SbO)HC_2O_4 \cdot H_2O$ (1 *мг*), Na-пироантимоната, $Na_2H_2Sb_2O_7 \cdot 6\,H_2O$ (0,5—0,1 *мг*), Cs-Sb-хлорида, $SbCl_3 \cdot 2\,CsCl \cdot 2{,}5\,H_2O$ (0,15 *мг*) или Cs-Sb-иодида, $SbJ_3 \cdot 2\,CsJ$ (0,1 *мг*).—**Bi:** в виде K-Bi-сульфата, $Bi_2(SO_4)_3 \cdot 3\,K_2SO_4$ (0,3 *мг*), K-Bi-оксалата, $KBi(C_2O_4)_2$ (0,3—0,01 *мг*), Cs[и Rb]-Bi-хлорида, $BiCl_3 \cdot 2\,CsCl \cdot 2{,}5\,H_2O$ и $BiCl_3 \cdot 2RbCl \cdot 2{,}5\,H_2O$ (0,2—0,13 *мг*) или Cs-Bi-иодида, $BiJ_3 \cdot 2\,CsJ$ (0,13 *мг*).—**Cr:** открывается всегда в форме Cr^{VI}, для чего соединения Cr низших валентностей предварительно окисляют в производные CrO_3 (сплавлением с $Na_2O_2 + Na_2CO_3$ или в растворах—нагреванием с $H_2O_2 + NH_3$); после этого Cr^{VI} доказывают выделением в виде Ag-бихромата, $Ag_2Cr_2O_7$ (0,08—0,02 *мг*), Pb-хромата, $PbCrO_4$ (0,02 *мг*) или же хромата бензи-

дина (0,01 *мг*).—**Mn:** в виде оксалата, $MnC_2O_4 \cdot 3H_2O$ (1—0,5 *мг*), или двуокиси, MnO_2(0,2 *мг*); чаще открывают Mn при помощи обычных красочных реакций, для чего сначала переводят его в манганат (сплавлением с $KNO_3 + Na_2CO_3$) или в перманганат (окислением персульфатом или PbO_2) (0,1 *мг* Mn).—**Fe:** в виде аммоний-Fe-флюорида, $FeF_3 \cdot 3NH_4F$ (0,2 *мг*), чаще же всего при помощи красочных реакций с $K_4Fe(CN)_6$ (образование берлинской лазури; 0,07 *мг* Fe^{+++}) или с KCNS (образование Fe-роданида).—**Co:** в виде K-Co-нитрита, $K_3Co(NO_2)_6 \cdot 3H_2O$ (0,1 *мг*), Co-Hg-роданида, $Co(CNS)_2 \cdot Hg(CNS)_2$ (0,01 *мг*) или аммоний-Co-ортофосфата, $NH_4CoPO_4 \cdot 6H_2O$.—**Ni:** в виде комплексной соли с диметилглиоксимом, $(CH_3 \cdot CNO)_2Ni \cdot (CH_3 \cdot CNOH)_2$ (0,2 *мг*) или с дициандиамидином, $Ni(OC_2H_5N_4)_2 \cdot 2H_2O$, а также в виде K-Ni-Pb-нитрита, $K_2NiPb(NO_2)_6$ (0,008 *мг*) или аммоний-Ni-ортофосфата, $NH_4NiPO_4 \cdot 6H_2O$.—**Cu:** в виде Cu-Hg-роданида, $Cu(CNS)_2 \cdot Hg(CNS)_2 \cdot H_2O$ (0,1 *мг*) или K-Cu-Pb-нитрита, $K_2CuPb(NO_2)_6$ (0,03—0,01 *мг*).—**Ag:** в виде бихромата, $Ag_2Cr_2O_7$ (0,15 *мг*), хлорида, AgCl (0,1 *мг*) или Rb-Ag-Au-хлорида, $AgCl \cdot RbCl \cdot 2AuCl_3$.—**Au:** в виде хлораурата таллия, $TlAuCl_4 \cdot 5H_2O$ (6 *мг*), Zn-Au-роданида, $Au(CNS)_3 \cdot Zn(CNS)_2$, или металлического золота (восстановление при помощи $SnCl_2$) (2 *мг*).—**Pt:** в виде хлороплатината калия, K_2PtCl_6 (0,6 *мг*) или соли Миллона и Коммайля, $N_2H_4Cu(NH_4)_2PtCl_4$ (0,06 *мг*).

Б. Реакции на кислоты. **HF:** открывается в виде фторосиликата натрия, Na_2SiF_6 (0,4 *мг* F) или фторосиликата бария, $BaSiF_6$ (0,2—0,15 *мг*).—**HCl:** в виде K-хлороплатината, K_2PtCl_6 (0,7 *мг* Cl), Tl-хлорида, TlCl (0,1 *мг*), или Ag-хлорида, AgCl (0,05 *мг*).—**HBr:** в виде K-бромоплатината, K_2PtBr_6 (0,25 *мг* Br), Tl-бромида, TlBr (0,15 *мг*), Ag-бромида, AgBr (0,05 *мг*) или бромаурата таллия, $TlAuBr_4$ (0,006 *мг*).—**HJ:** в виде K-иодоплатината, K_2PtJ_6 (0,2 *мг* J), иодной ртути, HgJ_2, Tl-иодида, TlJ (0,17 *мг*), Ag-иодида, AgJ (0,17 *мг*), Pd-иодида, PdJ_2 (0,1 *мг*) или при помощи иодокрахмальной реакции (после окисления нитритом) (0,2—0,17 *мг* J).—**$HClO_3$:** в виде Rb-перхлората, $RbClO_4$ (из раствора $KMnO_4$ вследствие изоморфизма обеих солей получаются красные кристаллы).—**H_2S:** в виде PbS (на волокне, смоченном свинцовым сахаром); нерастворимые сульфиды предварительно сплавляют с содой.—**H_2SO_4:** в виде гипса, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (0,2 *мг* S), бензидинсульфата (0,02 *мг*) или $PbSO_4$ (0,006 *мг*).—**HNO_3:** в виде осадков с нитроном (1, 4-дифенил-3, 5-энданило-4, 5-дигидро-1, 2, 4-триазолом), цинхонамин-сульфатом и уксуснокислым берберином (0,005 *мг* N) или же при помощи цветных реакций с дифениламином или бруцином.—**H_3PO_4:** в виде NH_4-Mg-ортофосфата, $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$ (0,02 *мг* P) или фосфорномолибденовокислого аммония, $(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3$ (0,02 *мг*).—**H_2CO_3:** в виде $SrCO_3$ (1 *мг* C) или по выделению CO_2 при подкислении.—**SiO_2:** в виде фторосиликата бария, $BaSiF_6$, фторосиликата молибдена, $MoSiF_6$ (0,05 *мг* Si) или кремнемолибденовокислого рубидия, $Rb_4SiO_4 \cdot 12MoO_3$ (0,004 *мг*).—**H_3BO_3:** в виде борофтористого калия, KBF_4 (0,1 *мг* B) или при помощи цветной реакции с куркумовой настойкой (на волокне).

Органические соединения могут также во многих случаях быть открываемы при помощи характерных кристаллореакций или реакций окрашивания в растворах и на волокне. Однако вследствие чрезвычайного разнообразия органич. веществ, трудности их разделения и отсутствия для многих из них подходящих реакций систематич. анализ здесь представляет огромные затруднения и м. б. выполнен лишь в единичных случаях, напр. когда природа и химич. характер присутствующих соединений заранее известны. В лабораторной практике органич. качественный М. а. применяется с наибольшим успехом: а) при серийных исследованиях смесей мало варьирующего состава (физиологич. анализы); б) при анализе на присутствие определенных соединений (например алкалоидов), для которых имеются специфич. микрореакции; в) для идентификации веществ, к-рые удалось получить или выделить лишь в очень малом количестве. Подробности о микрореакциях органич. веществ см. лит.

Количественный М. а. Методы колич. М. а. вырабатывают, исходя из требования: брать для анализа не более 10 *мг* вещества и определять состав его с той же степенью точности, какая достигается в обычном анализе. В связи с этим М. а. требует гораздо более точных приборов для измерения массы и объема, а успешное выполнение его и надежность получаемых результатов в значительной степени зависят от экспериментаторских навыков и искусства аналитика. Экономия времени достигается далеко не всегда и не играет решающей роли. Поэтому в колич. анализе микрохимические методы пока еще не получили широкого распространения; к ним прибегают гл. обр. в тех случаях, когда это диктуется необходимостью экономить исследуемое вещество. При весовом М. а. для взвешивания пользуются микровесами Сарториуса или Кульмана, к-рые при нагрузке до 20 *г* допускают взвешивание с точностью до 2—5 *мг*; при некоторых особенно точных исследованиях—весами Нернста. Осаждение, обработка осадков, приведение их к постоянному весу и взвешивание выполняются по специальным методам, излагаемым в соответствующих руководствах (см. лит.). При тщательной работе эти методы, несмотря на гораздо меньшую величину навески, допускают определение состава с ручательством за достоверность в десятых долях процента. Объемный М. а. выполняется почти так же, как и обычный, но с применением при титровании специальных микробюреток (емкостью 2 *см*^{3}, с делением на сотые) и более разбавленных растворов (от 0,05 до 0,005 *N*); достигаемая точность и здесь не уступает точности макроаналитич. методов. Газовый М. а. может быть произведен с несколькими *мм*^{3} исследуемого газа; он требует специальной, часто весьма сложной микрохимич. аппаратуры и применяется поэтому лишь в соответственно оборудованных лабораториях. Органический элементарный М. а. позволяет путем специально разработанных методов сожжения и других операций определять количественный состав органич. вещества при навеске 2—10 *мг*. Методика сожжения в основном не отличается от общепринятой, но предъявляет повышенные требования в отношении чистоты реактивов и устранения всех источников возможных ошибок (неплотные соединения, пробки, каучук и другие органич. материалы в аппаратуре и т. д.); в существующих аппаратах для органич. М. а., весьма разнообразных по конструкции, эти вредные факторы в значительной мере исключены.

Капиллярный анализ. К собственно М. а. весьма близко примыкает капиллярный анализ, также позволяющий анализировать минимальные количества веществ, но не требующий применения микроскопа. Методика капиллярного анализа допускает только качественное исследование вещества на присутствие определенных ионов; она основана на том явлении, что при капиллярном распространении какого-либо раствора в порах фильтровальной бумаги различные содержащиеся в нем ионы распространяются неодинаково. Границы распространения любого вещества или иона зависят от концентрации его в растворе и скорости фиксации (адсорбции) его волокнами бумаги; т. о. со-

здается возможность разделения сложного раствора на его компоненты—разделения, хотя и неполного, но достаточного для аналитич. целей. При нанесении капли такого раствора (достаточно разбавленного) на фильтровальную бумагу получается ряд концентрич. зон, в к-рых состав раствора по направлению от центра к периферии все более упрощается (у внешней границы пятна он представляет чистую воду); аналогичные зоны образуются (в виде параллельных полос), если полоску бумаги погрузить одним краем в испытуемый раствор. Пропитывая фильтровальную бумагу (до или после нанесения пробы) соответственно подобранным реактивом, можно получить на ней характерные цветные реакции того или другого иона, ясно различаемые в виде окрашенных колец или полосок; посторонние ионы, затемняющие реакцию, часто м. б. отстранены путем фиксации их на бумаге в виде нерастворимых осадков. Т. о. капиллярное разделение ионов заменяет собою обычные приемы осаждения и фильтрования. Метод капиллярного анализа разработан Ф. Фейглем с сотрудниками в 1920—23 годах под названием «Tüpfelanalyse», первоначально для смесей, содержащих катионы 3-й аналитич. группы, а позже и для катионов 4-й и 5-й групп (Hg, Pb, Bi, Cu, Cd, As, Sn, Sb); он пригоден для одновременного открытия нескольких ионов, но с известными ограничениями. Применяемые реактивы довольно разнообразны (бензидин, дифенилкарбазид, цинхонин, тетраметилдиаминодифенилметан и другие). Чувствительность метода—порядка от 0,1 до 5,0 *μг* для изолированных ионов (наличие посторонних ионов понижает чувствительность); достоинствами его являются крайняя простота, скорость работы и полное отсутствие какой-либо аппаратуры; им пользуются иногда при исследовании фабричных образцов органич. красителей для отличия составных препаратов от индивидуальных.

Капельный анализ. Этот оригинальный метод качественного химич. анализа также м. б. отнесен к микрохимическим; он разработан Н. А. Тананаевым в 1920—26 гг. для применения в заводских и исследовательских лабораториях, а также в экспедициях по разведкам ископаемого сырья и т. п. Метод разработан пока только для катионов; его основная цель—открывать поочередно все ионы, не прибегая к отделению остальных. Для каждой пробы, как правило, берется одна капля раствора, реже несколько капель и изредка—до 1 *см*³. Основным приемом анализа является получение цветного пятна или цветной каймы путем прикосновения капли реактива к капле испытуемого раствора, что выполняется обычно на фильтровальной бумаге (иногда на фарфоре или стекле). Для элементов, не дающих окрашенных пятен (щелочные и щелочноземельные металлы, Cd, Zn) анализ приходится дополнять микрометодикой обычного разделения, связанного с осаждением, фильтрованием и промыванием осадков. Методика Н. А. Тананаева позволяет проводить «дробный» анализ всех металлических катионов, пользуясь весьма небольшим количеством вещества, общедоступными реактивами и простейшим аппаратурным набором (часовые стекла, фарфоровые чашечки, стеклянные палочки, капиллярные трубки и фильтровальная бумага). Капельный метод в достаточной мере чувствителен и занимает гораздо меньше времени, чем обыкновенный систематический анализ.

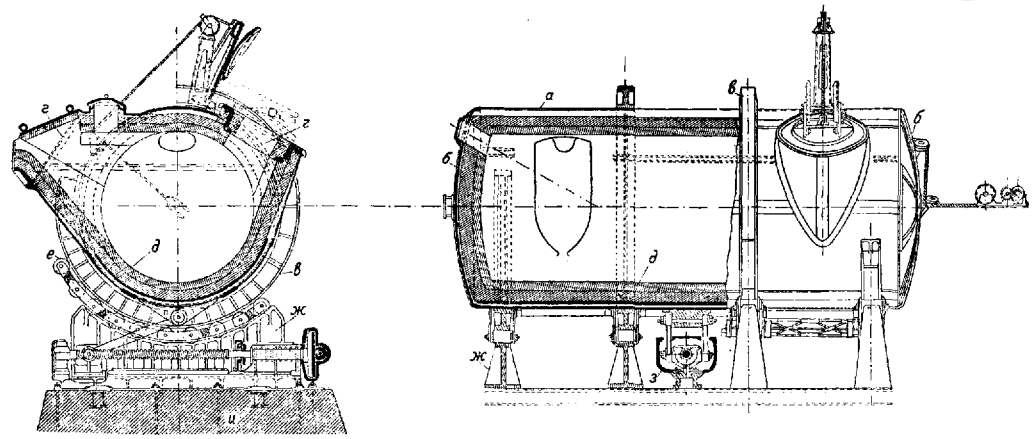
Лит.: Общая: Меншуткин Н. А., Аналитич. химия, 15 изд., М.—Л., 1929 (статья С. П. Гвоздева «Микрохим. анализ»); Mikrochemie, «Ztschr. f. das Gesamtgebiet d. Mikrochemie u. Mikrophysik», W., ab 1923; Emich F., Methoden d. Mikrochemie, Handb. d. biolog. Arbeitsmethoden, hrsg. v. E. Abderhalden, Abt. 1, T. 3, Berlin—Wien; Schoorl N., Beiträge zur mikrochemischen Analyse, Wiesbaden, 1909; Emich F., Lehrbuch d. Mikrochemie, 2 Auflage, Wiesbaden, 1926; Donau J., Die Arbeitsmethoden d. Mikrochemie, Handb. d. mikroskopischen Technik, T. 9, Stg., 1913; «Ztschr. f. analyt. Chemie», Mch., 1915, B. 46 u. ff.; Benedetti-Pichler A., «Ztschr. f. angew. Chemie», Lpz., 1929, Jg. 42, p. 954. Качественный М. а.: Беренс Г., Микрохимич. анализ, ч. 1, пер. с нем., Л., 1928; Эмих Ф., Микрохимич. анализ, пер. с нем., Л., 1926; Grey E. Ch., Practical Chemistry by Mikro-Methods, Cambridge, 1925.—Газовый М. а.: Krogh A., Mikrogasanalyse, Handbuch d. biolog. Arbeitsmethoden, hrsg. v. E. Abderhalden, Abt. 4, T. 10, B.—W.—Органический М. а.: Schoorl N., Organische Analyse, Amsterdam, 1921; Dubsky J., Vereinfachte quantitative Mikroelementaranalyse organischer Substanzen, Lpz, 1917; Behrens H. und Kley P., Organische mikrochemische Analyse, Lpz., 1922; Pregl F., Die quantitative organische Mikroanalyse, 2 Aufl., B., 1923; Benedetti-Pichler A., «Mikrochemie», W., 1927, B. 5, p. 30; Капиллярный анализ: Feigl F. u. Stern R., «Ztschr. f. analyt. Chemie», Wiesbaden, 1921, B. 60, p. 1; Hauser E., ibid., 1921, B. 60, p. 81; Feigl F. u. Neuber F., ibid., 1923, B. 62, p. 369. Kopaczewsky W., «Matières Colorantes», P., 1926, t. 30, p. 34; Капельный анализ: Тананаев Н., Капельный метод качественного химич. анализа, ч. 1—Катионы, 2 изд., Л., 1928; Gutzeit G., «Mikrochemie» W., 1929, B. 7, p. 390.

В. Янковский.

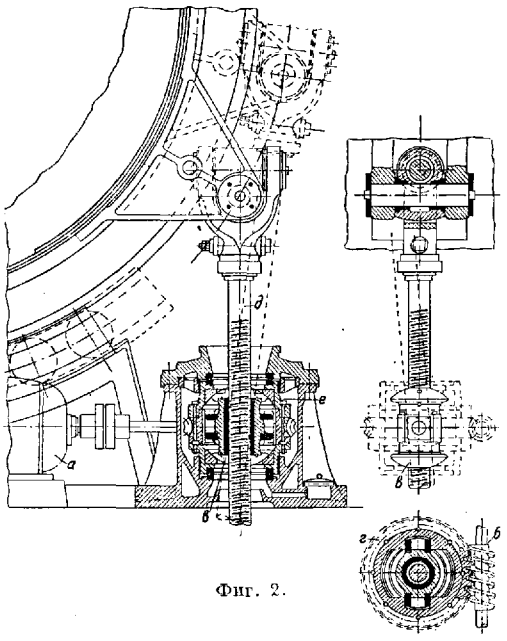
МИКСЕР, сосуд для скопа жидкого чугуна, получаемого из доменных печей или вагранок. Назначение М.: 1) создание независимости работы сталелитейного цеха от доменного, 2) выравнивание состава и $t°$ чугуна, 3) создание возможности переработки всего чугуна (в том числе и выплавленного в праздники) в жидком виде, 4) возможность легкого удаления (отстаивания) серы, 5) возможность предварительной рафинировки чугуна при соответствующей конструкции М. Различают миксеры простые, или неактивные, служащие только для скопа, выравнивания состава и удаления серы, и активные, в которых можно поднять температуру чугуна и вести выгорание примесей: кремния, марганца, фосфора, серы, а иногда и углерода. Последний тип М. по своей конструкции и интенсивности нагрева приближается к качающейся мартеновской печи; М. этого типа имеет плоский под и сравнительно неглубокую ванну (1—1,5 *м*). М. первого типа—обычно цилиндрические, имеют глубокую ванну и сравнительно слабый обогрев при помощи нефтяных форсунок или газовых горелок. Применявшиеся ранее регенераторы ныне не применяются. Расчет М. ведется по времени пребывания в нем чугуна, к-рое для лучшего удаления серы принимается в 8—12 ч.; вместимость М.—до 1 300 *т*.

Неактивный М. (фиг. 1) состоит из цилиндрического кожуха *а* со сферич. днищами *б*, с кольцами *в* и желобами *г, г* для заливки чугуна и для выливания чугуна из М., футеровки *д*, опорных катков *е* и балок *жс*, поворотного механизма *з* и мас-

сивного фундамента *и*. Кожух и днища М. изготовляют из котельного железа толщиною 25—30 *мм*. Желоба снабжены крышками, для закрывания и открывания которых устроен особый механизм; иногда посредине кожуха делается третий желоб для спуска шлака. Форсунки или газовые горелки, служащие для отопления миксера, устанавливаются обычно в сделанные для этого отверстия в днищах. Кожух М. охватывается несколькими прочными кольцами—клепаными железными или чаще стальными литыми, к-рыми он опирается на 2—4—6 рядов стальных роликов (диам. 200—300 *мм*), свободно лежащих на опорных балках. Клепаные или стальные литые опорные балки прочно крепятся к фундаменту М. Футеровка М., общей толщиною в 500—650 *мм*, состоит из слоя песка (25 *мм*), непосредственно примыкающего к железному кожуху, кладки из изоляционного кирпича (65—120 *мм*), слоя шамотной кладки (250 *мм*) и наконец внутреннего слоя (250 *мм*), до высоты уровня шлака, из магнезитового кирпича. Внутренний слой верхней части (свод) делается из высокосортного шамотного кирпича или чаще из динасового, причем иногда слой динасовой кладки толщиною 300 *мм* (большемерный кирпич) выкладывается непосредственно после изоляционного слоя без промежуточного шамотного.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Поворачивание (наклонение) М. производится при помощи гидравлических цилиндров или специальных (шпиндельных) механизмов, приводимых в действие электромоторами. Гидравлич. цилиндры обычно, в количестве 4 штук, располагают по обоим концам М. (по два с каждого конца); устанавливаются они непосредственно на фундаменте М. или подвешиваются на цапфах. Вертикальный шпиндельный механизм (фиг. 2) состоит: из мотора *а*, червяка *б* специальной конструкции, гайки *в*, расположенной внутри червячного колеса *г*, и винта *д*. Для восприятия осевого усилия винта гайка заключена в составную обойму, у которой средней частью является червячный венец. Места соприкосновения гайки и обоймы обточены по шаровой поверхности. Воспринимаемое обоймой осевое давление передается через шариковые опоры верхней или нижней части червячной коробки, прочно закрепленной на фундаменте М. Гайка имеет две цапфы, соответственно которым на внутренней части червячного венца имеются вертикальные прорезы. Цапфы гайки входят в эти прорезы, и т. о. гайка соединяется с червячным венцом и вместе с последним вращается. Такое соединение, а также шаровое сочленение гайки и обоймы допускают значительные повороты гайки при наклонении М. без нарушения соединения ее с червяком. Горизонтальный шпиндельный механизм виден на фиг. 1. Здесь вращательное движение мотора через пару конич. шестерен передается горизонтальному винту. Винт сообщает поступательное движение гайке, вследствие чего происходит перемещение шатуна, а следовательно и поворачивание М. Осевое давление винта воспринимается упорным подшипником, поперечное же усилие благодаря конструкции гайки со скользящей нижней опорой передается

непосредственно опорной балке. Угол поворота М. равен 40—50° в сторону выливания чугуна и ок. 25° в сторону спуска шлака. В случае установки двух шпиндельных механизмов они рассчитываются т. о., чтобы каждый из них был в состоянии произвести поворот наполненного М. Данные существующих М. следующие:

Емкость в *т*	300	600	800	1 000	1 300
Длина в *м*	4,8	4,9	5,35	6,25	6,10
Диаметр в *м*	6,5	10,6	10,6	10,5	11,5

Цилиндрические М. располагаются двумя способами. 1) Для бессемеровских, томасовских и б. ч. америк. мартеновских мастерских М. располагаются в отдельном здании с таким расчетом, чтобы чугун попадал в сталелитейную мастерскую по ж.-д. путям на уровне рабочей площадки (высокое расположение М.). 2) Для мартеновских мастерских европ. типа обычно М. располагают низко—или отдельно или в одну линию с мартеновскими печами в конце мастерской.

Для активных М. обычно применяют только последнее расположение, устанавливая их в середине мастерской. Активные М. устанавливаются гл. обр. там, где передельные чугуны имеют ненормальный состав, напр. высокое содержание кремния при одновременном высоком содержании фосфора (кливлендский чугун в Англии). Производительность активных М. достигает 1—2 и $2^1/_2$ оборотов чугуна в сутки в зависимости от степени рафинирования и количества подсадки холодного (штыкового) чугуна и скрапа. В отличие от неактивных М., для к-рых достаточно бывает обслуживание мостовым краном подъемной силой от 50 до 125 *т*, активные М. работают с подсадкой значительного количества руды, флюса и твердой металлич. завалки и потому требуют установки кроме заливочного крана еще и завалочной машины напольного или мостового типа, а также соответственного оборудования для подачи шихты на рабочую площадку. Размеры активных миксеров приведены в таблице:

Емкость в *т*	Под (на уровне ванны)			Объем насадок регенераторов в *м*³
	длина в *м*	ширина в *м*	площадь в *м*²	
250	13,8	4,2	58	220
300	14,4	4,5	61	183
400	14,02	4,72	66	—

Обессеривание в неактивных М. идет по следующей реакции:

$$FeS + Mn = MnS + Fe + 44\,101\ cal,$$

к-рая, как экзотермическая, не завершилась в доменной печи благодаря высокой *t*° горна, но начинается уже в ковше при перевозке чугуна от доменных печей к М. Сернистый марганец всплывает на поверхность металла, где, подвергаясь действию воздуха, частью окисляется, выделяя сернистый газ. Реакции, протекающие в активном М., т. е. в присутствии руды и извести, те же, что и в первом периоде мартеновского рудного процесса (см. *Мартеновский процесс*). Получающиеся при этом шлаки имеют в своем составе следующие вещества (в %):

SiO_2	P	Fe	Mn
20	2—3	8—10	16—18
29—30	1,8—1,9	4,5—6,0	—
36,41	—	6,2	14,49
27,89	2,78	15,19	13,2

Лит.: Грум-Гржимайло В. Е., Производство стали, М.—Л., 1925; Карнаухов М. М., Металлургия стали, т. 2, вып. 2, Л., 1926; Simmersbach O., Roheisenmischer u. ihre Anwendung im Eisenhüttenbetriebe, «St. u. E.», 1911, p. 253, 337, 387; Springorum F., ibid., 1915, p. 825—852; Herzog E., Die Entwicklung d. Bauart u. Betriebsweise d. Roheisenmischer in d. Nachkriegzeit, ibid., 1929, p. 1361, 1398. **М. Трубецков.**

МИЛЕ МАШИНА, двухоборотная скоропечатная машина америк. фирмы The Miehle-Chicago. См. *Печатные машины.*

МИЛЛИАМПЕР, единица измерения силы электрич. тока, равная 0,001 *ампера* (см.). Сокращенное обозначение: mA или ма.

МИЛЛИВАТТ, единица измерения электрич. мощности, равная 0,001 *ватта* (см.). Сокращенное обозначение: mW или мвт.

МИЛЛИВОЛЬТ, единица измерения электрич. напряжения, равная 0,001 *вольта* (см.). Сокращенное обозначение: mV или мв.

МИНА, см. *Минное дело.*

МИНДАЛЬНОЕ ДЕРЕВО, Amygdalus communis (сем. Amygdalaceae), достигает высоты до 8 *м*, произрастает в Ср. Азии и Сев. Африке и введено в культуру на юге Европы благодаря ценным плодам, известным под именем миндаля. Плод М. д.—костянка 4—6 *см* длиною и 2,5 *см* шириною с кожистым околоплодником, покрытым бархатистым серо-зеленым войлоком. Это ценное плодовое дерево имеет много разновидностей, отличающихся между собою по вкусу плода (горькие и сладкие миндали), по форме и размерам плода и по степени твердости оболочки. Семена миндаля содержат жирное *миндальное масло* (см.). Древесина М. д. твердая, с красноватыми жилками, обладает высоким объемным весом (1,0); в столярных и токарных изделиях имеет красивый вид, не коробится и не трескается. Особенно ценятся краснодеревцами корневые наросты миндального дерева. **Н. Кобранов.**

МИНДАЛЬНОЕ МАСЛО, невысыхающее жирное масло, добываемое прессованием из косточек миндаля двух видов: сладкого миндаля (Amygdalus com. var. dulcis) и миндаля горького (Amygdalus com. var. amarus). Для прессования сладкого миндаля применяется горячее прессование, для горького—холодное. Сладкий миндаль, растущий на юге Европы, в Малой Азии и в среднеазиатских республиках, дает около 50% М. м., горький миндаль содержит его несколько меньше. М. м.—слабо окрашенная в желтый цвет жидкость без запаха, с мягким приятным вкусом, загустевающая при темп-ре от 15 до 20°. В состав М. м. входит почти исключительно глицерид олеиновой кислоты с незначительной примесью глицерида линолевой кислоты. Уд. в. 0,915—0,920, кислотное число не более 4,5, число омыления 190—195, иодное число 93—102 (см. *Спр. ТЭ*, т. III, стр. 44—84). Применяется М. м. в медицине, для производства косметич. изделий и мыла. В качестве замены и для фальсификации М. м. применяются очень близкие по составу и внешним признакам масла, получаемые прессованием косточек абрикосов, персиков

и слив. Побочным продуктом производства М. м. являются жмыхи, к-рые в измельченном виде носят название миндальных отрубей и применяются в косметике. Миндальные жмыхи из горького миндаля содержат *амигдалин* (см.) и служат исходным продуктом для получения *горькоминдального эфирного масла* (см.). **Б. Рутовский.**

Лит.: см. *Жиры и масла* и *Маслобойное производство.*

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ, процесс превращения органич. веществ в неорганич. «минеральные» соединения. Исходным материалом М. могут быть органич. вещества как в твердой форме («осадок», «грязь», взвешенные и плавающие вещества), так и растворенные в сточных водах. В природе процесс М. протекает обычно при участии микробов-минерализаторов; этим широко пользуется техника в процессах биологической очистки сточных вод и в решении вопросов, связанных с т. н. самоочищением водоемов (условия спуска в них сточных вод, возможность водопользования из загрязненных источников и пр.) и с самоочищением почвы (устройство полей орошения и ассенизации, свалок для мусора, могильников для скота, кладбищ). Во всех этих случаях в самых разнообразных сочетаниях идут микробиальные процессы М.—аэробные (при доступе воздуха) и анаэробные (без доступа воздуха). Возможны также и чисто химич. процессы М., под влиянием к-рых (вследствие гидролиза, окисления или других реакций) органич. соединение превращается в неорганическое. Конечными продуктами М. органических веществ являются газообразные вещества, растворимые и нерастворимые в воде соединения. Они различны в зависимости от физико-химич. условий процесса М. и от биологич. особенностей участвующих микроорганизмов. Углерод (С) органических веществ—будут ли это белки, жиры, углеводы в твердой или жидкой фазе—переходит в углекислоту (CO_2) или метан (CH_4), азот (N)—в свободный газообразный азот (N_2), свободный аммиак (NH_3) или аммонийные соли [например $(NH_4)_2CO_3$], — в азотнокислые (например $NaNO_3$) или азотистокислые (напр. $NaNO_2$) соли, сера (S)—в газ сероводород (H_2S), в сернистые (FeS_2) и сернокислые соли (например Na_2SO_4), фосфор (Р)—в фосфористый водород (PH_3), в фосфорнокислые соли [например $Ca_3(PO_4)_2$]. Промежуточными продуктами М. могут быть различные органич. соединения. Явления М. учитываются при очистке сточных вод, при самоочищении водоемов и почвы, путем наблюдения над появлением промежуточных и конечных продуктов М., что получает свое выражение в характере химич. анализа. Не менее показательными м. б. результаты бактериологического изучения живых агентов М. (микроорганизмов) и выделяемых ими ферментов.

Лит.: Buswell A. M., The Chemistry of Water a. Sewage Treatment, N. Y., 1928. **С. Строганов.**

МИНЕРАЛОГИЯ, наука, имеющая задачей изучение минералов, представляющих собою продукты природных физ.-химич. процессов, и самих процессов во времени и в различных естественных областях земной коры. Поэтому современная М. в значительной мере представляет собою химию земной коры. Она исследует взаимные естественные ассоциации минералов (их парагенезис) и законы их образования. Изучая минерал как продукт физико-химич. процесса в земной коре, М. является теснейшим образом связанной с химией, разъясняющей состав минерала и химич. законы процессов минералообразования. Мы приходим к М. через физику с *кристаллографией* (см.), физико-химию, химию и *геологию* (см.) с ее основным разветвлением—*петрографией* (см.). В настоящее время М. объединяет в себе различнейшие направления и школы. Прежде всего необходимо отметить геохимическую школу. Отправной точкой исследования является элемент, его комбинации с другими элементами, дающие различные природные соединения. Тщательно прослеживается, регулируется и выясняется по возможности полная картина от «рождения» элемента (изверженные породы) до «смерти» его, т. е. превращения в форму, наиболее устойчивую. Старое кристаллографическое направление и увлечение физиографией минералов наблюдается в З. Европе и в США до сих пор, несмотря на мощное развитие геохимич. направления. Генетическое направление стремится в первую очередь поставить вопрос о происхождении минералов, рассматривая минерал как один из этапов процесса минералообразования в природе. Однако развитию этих новых форм исследования и изучения сильно препятствуют устаревшие номенклатура и классификация. Новое направление стремится уничтожить бесконечное разнообразие названий минералов часто одной и той же группы, одного и того же генетич. цикла. Бесконечные нерациональные названия создают искусственные перегородки между группами, объединенными как своей внутренней структурой, так и единством происхождения. Равным образом и вопросы классификации, сводимые почти во всех других школах к чисто химич. признакам и даже к оптич. и физич. контрастам (Ниггли), стоят на пути к более широкому развитию генетич. М., ставящей своей задачей самую физиографию минералов пересмотреть под углом их происхождения. Поэтому генетич. школой основан в настоящее время специальный институт изучения генезиса и синтеза минералов, опирающийся в своей работе на лабораторию высоких давлений академика В. Н. Ипатьева. Действительно почти все процессы в земной коре протекают под давлением. Однако изучение химич. процессов под давлением до сих пор не нашло себе места ни в одной минералогич. лаборатории, и работы акад. Ипатьева сдвинули эту проблему с мертвой точки и поставили в порядок дня этот вопрос.

В СССР после революции, когда наука под влиянием идей Октябрьской революции начала связываться с промышленной жизнью страны, выделилось течение т. н. прикладной М. Развитие прикладной М. шло гл. обр. в направлении исследования генетического происхождения минералов, т. к. вопросы генезиса тесно связаны с определением запасов того или другого рудного тела, содержащего полезный минерал или полезные ми-

нералы. Для того напр., чтобы знать благонадежность месторождений садонской свинцовой или цинковой руды, необходимо выяснить генезис цинковой обманки и свинцового блеска, законность замещения цинковой обманки серным колчеданом и т. о. установить весь генетич. цикл данного рудного тела. Установление генетич. цикла позволяет нам определить, насколько вероятно в глубину может продолжаться это месторождение и следует ли ставить на нем дорого стоящую разведку для точного подсчета его запасов. При каждом решении вопроса о запасах вопросы генезиса, на первый взгляд как будто высоко теоретические, играют исключительно практич. роль. Прикладная М. понимается еще в том смысле, что изучение ее необходимо поставить в неразрывную связь с дальнейшим использованием того или другого минерала в промышленности. В самом деле, в последнее время наша рудно-минеральная промышленность широко использует процессы обогащения как механического, так и флотационного. Оба эти процесса требуют предварительно точных знаний минералогического состава руды. Между тем при изучении месторождений обычно их минералогический состав был довольно неясен, и на него не обращали должного внимания. Так напр., Чиатурское месторождение марганцевых руд до сих пор еще требует специального минералогич. изучения, так как состав руд еще не определен с достаточной полнотой и ясностью. Сравнительно недавно велся также большой спор о том, в каком виде медь находится в медистых пиритах—в виде ли минерала медного колчедана или в виде дисперсной меди. Решение вопроса в ту или другую сторону определяло собой дальнейшую технологическую обработку медистых пиритов. Вопрос, в какой форме находится железо в цинковых рудах Садона, играл тоже не меньшую роль для промышленности. Если железо находится исключительно в виде минерала пирита, то процесс обогащения может освободить цинковую руду от вредного для процесса плавки железа. Если же железо находится в виде комплексного соединения в цинковом колчедане, то никакой обогатительный процесс не сможет освободить нас от железа, и необходимо выбрать другой технологич. метод выделения цинка из руды.

Т. о. как минералогам, так и технологам д. б. одинаково интересно как знание М. вообще, так и особенно знание свойств минералов, на которых базируется их промышленное использование. Термин «прикладная М.» т. о. объединил разрозненные до сих пор группы исследователей. Прикладная М. требовала точной расшифровки понятий о руде, о глине, об известняке, о соли и т. п. терминах, обычно широко применяемых геологами. Термин «прикладная М.» указал технологам на возможные пути переработки продукта, аналогичные тем, которыми идет природа, и в этом смысле он явился чрезвычайно плодотворным для новейших технических изобретений в области переработки минерального сырья. В самом деле, если нам нужно получить безводный сернокислый натрий (сульфат), то мы обычно употребляем здесь тепловые процессы, берем широко распространенную водную соль и путем нагревания удаляем лишнее количество воды, между тем как в природе мы видим выпадение безводного сульфата из морской воды, обусловливаемое чисто физико-химич. процессом растворимости различных групп солей при определенных условиях $t°$ и давления. Исследовав генетически процессы и перенеся их в технологию, мы имеем в настоящее время превосходный метод получения сульфата без выпаривания, простым осаждением на основании теории природного процесса. Если вопросы прикладной М. совершенно не нашли своего отражения в прежней России, то это объясняется тем, что минеральное сырье почти для всех отраслей промышленности получалось из-за границы. Кроме того мы получали полуфабрикаты и продукты, приготовленные из заграничного сырья, и наши месторождения, к-рые могли бы быть использованы, оставались лежать втуне. Таким образом М. старого времени оставалась на чисто теоретич. высотах, связанных часто с отвлеченным кристаллографич. изучением минеральных тел. Преподавание в старых высших учебных заведениях было нацело оторвано от промышленной жизни и промышленных запросов и превращалось часто в кристаллографич. схоластику. В горной же промышленности старой России, если кто и работал над этими вопросами, то исключительно иностранцы, вывозя результаты этих исследований в свою страну и оставляя нашу науку в этом отношении совершенно бесплодной. Перечитывая теперь перечень того, что мы ввозили из-за границы, кроме таких более редких минералов, как напр. слюда, графит, тальк, хромовые руды, мы находим там такое простое сырье, как песок, глина, полевой шпат, кварц. Это доказывает, что ко времени переворота мы не имели даже элементарного своего собственного сырья на перешедших в руки рабочих и крестьян фабриках и з-дах. Блокада после революции заставила нашу промышленность обратиться к собственному минеральному сырью, и это вызвало к жизни развитие прикладной М. и создание большого исследовательского ин-та прикладной минералогии, взявшего на себя задачу исследования полезных минералов и их применение в промышленности страны. Первичное исследование всякой руды и сырья есть именно его минералогич. исследование, и в этом отношении, если бы мы даже знали заграничные методы обработки того либо иного полезного минерала, мы не могли бы этот метод просто автоматически перенести к нам, т. к. нигде нет руды совершенно одинакового минералогич. состава, нигде нет одинакового минерального сырья. Этим объясняются первые ошибки нашей промышленности, попытавшейся использовать сырье без его предварительного изучения. Оказалось совершенно невозможным установить стандартные марки продукта. Оказалось, что то сырье, на котором строились некоторые предприятия, было очень ограниченным, и на самом деле эти месторождения являлись ценными для использования совсем другого

полезного минерала, к-рый в нем находится, и для постройки совершенно другого предприятия, чем то, к-рое было на нем создано. Эти жестокие уроки нашли свое отражение в довольно мощном развитии исследовательских ин-тов, задачей которых стало найти метод использования того или иного полезного минерала. Помимо Института прикладной М. образовался ряд других отраслевых ин-тов, также принявших метод исследования, связанный с первоначальным минералогич. изучением и с дальнейшей увязкой этого изучения с технологич. процессами. Прикладной М. предстоит большая будущность в дальнейшем, так как богатства СССР чрезвычайно велики и еще только затронуты исследованием, использование же минерального сырья в СССР должно итти по линии организации совершенно новых производств. Между тем геологическое изучение Союза до сего времени было крайне недостаточно и страдало полным отсутствием ориентировки на потребности промышленности и сельского хозяйства и оставалось чисто отвлеченным и оторванным от жизни теоретическим исследованием.

Лит.: Болдырев А. К., Курс описательной минералогии, вып. 1, Л., 1926, вып. 2, Л., 1928; Вернадский В. Н., История минералов земной коры, т. 1, вып. 1, Л., 1924, вып. 2, Л., 1927; Федоровский Н. М., Опыт прикладной минералогии, П., 1924; его же, Главнейшие минералы, употребляемые в химич. промышленности, Л., 1925; его же, Минеральные богатства СССР и перспективы их использования, Л., 1925; его же, Генетическая минералогия, П., 1920; его же, Минералы в промышленности и с. х-ве, 2 изд., Л., 1927; его же, Курс минералогии, ч. 1—3, П.—Л., 1923—29; его же, Роль минералогии в промышленности, «МС», 1926, *5*; его же, Экономич. эффект работ И-та прикладной минералогии в цифрах, там же, 1927, *11*; Dana J., System of Mineralogy, N. Y., 1837—68, 6 ed., N. Y., 1899; Klockmann F., Lehrbuch der Mineralogie, 9/10 Aufl., Stg., 1923; Tschermak G., Lehrbuch der Mineralogie, 9 Aufl., W., 1923; Dana E. S., Textbook of Mineralogy, N. Y., 1922; Brauns R., Das Mineralreich, Stg., 1903; Delter C., Chemische Mineralogie, Leipzig, 1890; Brauns R., Chemische Mineralogie, Leipzig, 1896; Niggli G., Lehrbuch der Mineralogie, 2 Aufl., B. 1—2, Berlin, 1924—26; «The Mineralogical Magazine», Leipzig, ab 1876; «Bulletin de la Société mineralogique de France», Paris, ab 1878. **Н. Федоровский.**

МИНЕРАЛЬНАЯ ШЕРСТЬ, шлаковая шерсть, минеральная вата, см. *Вата.*

МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ, группа полезных *ископаемых* (см.), объединяющая минералы и природные газы, не входящие в группу горючих веществ (уголь, торф, нефть и т. д.) или в группу рудных металлов. Эта группа разнообразных веществ носит разные названия: Nichterze в Германии, Non-metallic Minerals в Америке, «нерудные ископаемые» или М. с. в СССР. Объем понятия М. с. довольно неопределенен и скорее устанавливается в практике условно, так напр., целый ряд металлич. солей относится к этой группе.

К М. с. должно отнести следующие 80 (приблизительно) видов полезных ископаемых, к-рые можно объединить в 8 б. или м. определенных групп.

1. Соли: алунит, квасцовый камень, соли бора, соединения брома, глауберова соль, соединения иода, соли калия и магния, селитра, природная сода, хлористый натрий. 2. Абразионные материалы: корунд и наждак, алмаз, пемза, гранат (альмандин), шлифовальные и полировальные камни. 3. Материалы керамической, стекольной и изоляционной промышленности: андалузит, дистен, силлиманит, дюморьерит, асбест, доломит, огнеупорные глины, кварц, кварцит, магнезит, нефелин, палыгорскит (горная кожа), полевой шпат и пегматит, слюда, тальк и тальковый камень, трассы и пуццоланы, соединения циркония, кислотоупорные материалы (базальты, кварциты и т. д.). 4. Строительные материалы: асфальт, гипс, ангидрит, сланцы, известняки, глины, мрамор, различные горные породы для строительства и дорожного дела, песок и гравий, материалы для цемента. 5. Цветные и драгоценные камни: свыше 90 видов, особенно—алмаз, рубин, сапфир, изумруд, шпинель, топаз, аквамарин, турмалин, гранат, опал, бирюза, янтарь, лазурит, лабрадор, родонит, малахит, яшма, агат, серпентин и другие. 6. Технические минералы: исландский шпат, агат, горный хрусталь, янтарь, яшма, мрамор и др. 7. Промышленные камни: барит и витерит, боксит, главконит и селадонит, отбеливающие сукновальные глины (бентонит и флоридин), графит, пирит, минеральные краски, криолит, литографский камень, мел, руды мышьяка, озокерит, сера, соединения стронция (целестин и стронциенит), трепел и диатомит, фосфорит и апатит, плавиковый шпат, хромит, природные цеолиты. 8. Природные газы: гелий, неон, аргон, кислород, азот, угольная к-та. Условно к приведенной группе М. с. нередко относят и природные соединения редких металлов, а именно: бериллия, лития, цезия, редких земель, тория, гафния и др. Общий список видов М. с. каждый год пополняется включением в него новых ископаемых, к-рые вовлекаются в обиход промышленности, благодаря новым методам технологии (напр. кианит, силлиманит для керамич. промышленности и т. д.).

Залегание М. с. В противоположность рудным ископаемым подавляющая часть М. с. связана не с большими рудными поясами земной коры, следующими по тектонич. линиям ее строения, а с экзогенными поверхностными областями образований, связанных с распределением воды и климатич. зон. Отдельные виды полезных ископаемых часто залегают в определенных сочетаниях; таковы основные и весьма обычные сочетания нерудных ископаемых: 1) кварц, полевой шпат, слюда, самоцветы, соединения редких элементов; 2) нефелин, апатит, соединения циркония и редких земель; 3) хромистый железняк, змеевик, асбест, тальк; 4) пемза, трепел, алунит, сера; 5) колчедан серный, селен, теллур; 6) сланцы, мраморы, тальковые породы, графитовые сланцы; 7) известняк, мел, доломит, кремень, главконит; 8) соль поваренная, соли калия и магния, глауберова соль, гипс и ангидрит, соединения иода и брома; 9) кварцевые пески, каолин, огнеупорные глины; 10) озокерит, асфальт, сера, гипс, квасцы. Эти наиболее важные ассоциации нерудных ископаемых нередко приводят к комбинированному их использованию, благодаря чему получается весьма выгодный экономич. эффект.

Технологические свойства. М. с. имеет ряд характерных признаков, которые обусловливают его использование в промышленности. По этим признакам М. с. можно разбить на три резко различные группы. Вещества первой группы (напр. драгоценные и поделочные камни, соединения редких элементов) характеризуются высокими мировыми ценами; они требуют специальных методов не только обработки, но и торговли, при малой устойчивости цен, изменчивости и часто новизне применения. Вторую группу М. с. представляют самые обыкновенные минеральные тела, как известняк, соль, глина, гипс, кварцевые пески, мергель и т. д. Именно они представляют основу всей минеральной промышленности, являясь сырьевой базой для химич. произ-

водств, для строительства и сел. хозяйства. Вместе с тем широкое распространение этих веществ и связанная с этим низкая себестоимость их определяют значение способов перевозки, стоимости транспорта, вообще суммы накладных расходов, к-рая во много раз превышает рудничную себестоимость. Отсюда вытекают и особенности эксплоатации этого вида сырья: огромные масштабы, механизация добычи, сортировки и транспорта, методы технологич. облагораживания, улучшения или активизации продукта, сближение районов потребления и районов добычи и т. д. Третья группа М. с. занимает как бы промежуточное место между названными двумя. Это—большая часть видов нерудного сырья: полевой шпат, тальк, графит, слюда, каолин, корунд и т. д. В своей основе эти материалы являются сырьем дешевым, но не выдерживающим длительных перевозок.

Специфические особенности М. с. Добыча, транспорт, переработка М. с. могут быть характеризованы след. данными. 1) Характерной чертой основн. М. с. являются не столько его количественные запасы, сколько его качества, его технич. и физ.-хим. свойства; можно напр. иметь громадные количества каолина, но если в нем содержится железа больше 1—2%, то эти запасы практически оказываются мало годными. Необходимо, чтобы геологич. изучение базировалось на минералогич., геохимич. или химич. анализе материала. Чисто геологич. приемы изучения месторождений, оконтуирование залежей и определение запасов являются недостаточными и нередко ведут к неправильным выводам. 2) Специфич. особенности М. с. приводят к исключительной специализации и к выработке точных и строгих марок, применямых часто лишь для узких и строго определенных производств; напр. в одной Германии установлено ок. 160 рыночных марок каолина. 3) Разные виды М. с. можно применять для одной и той же цели; напр. серную к-ту можно изготовлять из самородной серы или колчедана, сернокислый глинозем—из природного алунита, боксита или даже из простых глин и т. д. Это вызывает ряд своеобразных взаимоотношений между отдельными видами сырья, конкурирующими между собой, а также борьбу за снижение цен путем изменений и улучшений технологии переработки, борьбу тарифов, фрахтов, имеющих решающее значение при малой ценности сырья, и пр. Создаются громадные колебания в использовании сырья, вызванные нередко технич. завоеванием (например метод Фраша в серной промышленности вытеснил в Америке колчедан) или же изменением транспортных условий (напр. во время войн). 4) Другой специфич. особенностью М. с. является динамика роста его потребления, значительно опережающего рост потребления металла и вовлекающего в обиход промышленности наиболее простые и наиболее распространенные природные соединения и химич. элементы земной коры, а именно, в первую очередь соединения кислорода (который составляет 49,6% земной коры), кремния (26%), алюминия (7,45%), кальция (3,25%). 5) Наравне с этим идет вовлечение в промышленность ряда редких и новых для производства веществ или химич. элементов, как-то: гелия (750 тыс. долл. в год), титана (200 тыс. долл.), редких земель и тория (250 тыс. долл.), лития (50 тыс. долл.), новооткрытого гафния, двухпроцентные руды к-рого исчисляются в добыче всего лишь десятками *кг* (Норвегия). 6) При построении промышленности и особенно химической д. б. связь между добывающей (горной) и обрабатывающей промышленностями, так как разрыв между ними или несогласованность в работе могут гибельно отразиться на всем процессе развития промышленности.

Экономика. Значение группы М. с. в области минеральной индустрии быстро возрастает. На ней базируются в настоящее время строительная и химич. промышленности, дающие массовую дешевую продукцию. О соотношении добычи между тремя основными группами—топливом, металлом и неметаллич. ископаемыми можно судить по следующим данным мировой продукции за 1928 г. (данные Горного бюро США):

	Стоимость продукции в долл.	%-ное соотношение
Топливо (ископаемый уголь, нефть, торф)	7 200 000 000	51,5
Металлы (без благородных; черные—1,9 млн. долл., цветные—1,3 млн. долл.)	3 200 000 000	22,8
Неметаллич. ископаемые . .	3 600 000 000	25,7
	14 000 000 000	100

Экономич. и геологич. особенности М. с. обусловливают два резко противоположных типа эксплоатации месторождений: 1) очень крупные механизированные предприятия и 2) многочисленные мелкокустарные добычные партии. Все промежуточные методы ведения работ по практике З. Европы и Америки оказались нерентабельными и должны были уступить названным двум типам. Для первого типа дешевизна достигается механизацией и малым % накладных, организационных и коммерч. расходов на единицу продукта; для второго удешевление вытекает из сведения почти к нулю накладных расходов в условиях кустарной работы, индивидуальной, непостоянной, связанной сезонно с временем отсутствия других заработков и с индивидуальным риском. Прекрасным примером этого может служить полевошпатовая промышленность, которая не только в Норвегии, но и в С. Америке резко пошла по этим двум типам, причем керамич. полевой шпат стал добываться почти исключительно кустарно, а разработки полевого шпата для цементного производства перешли на путь механизированных крупных предприятий.

М. с. в СССР. Запасы М. с. в Союзе ССР очень велики и позволяют значительно развить его использование. Еще недавно промышленность неметаллич. ископаемых не имела сколько-нибудь определенных планов развития. Собирание ее в крупные союзные органы началось лишь в 1927 г. Острый кризис строительных материалов послужил основанием для организации строительного комитета ВСНХ СССР (теперь Союзстроя), сконцентрировавшего работу по планирова-

нию и реконструкции строительной промышленности. Недостаток минеральных удобрений заставил подчинить союзным органам разработки калийных солей, фосфоритов и апатитов, к-рые имеют в настоящее время твердые планы развития. Вновь созданный концерн «Минералруд» должен реконструировать добычу асбеста, огнеупорных глин, магнезита, каолина, графита, слюды, талька, абразионных материалов и ряда других продуктов, в недостаток которых упирается расширение основных отраслей промышленности.

Из перечислен. минералов и пород к числу видов М. с., промышленность к-рых имеет у нас определенные планы развития, относится около 40 объектов; из них половина является новыми для нашего горного дела продуктами, и добыча их началась лишь после революции.

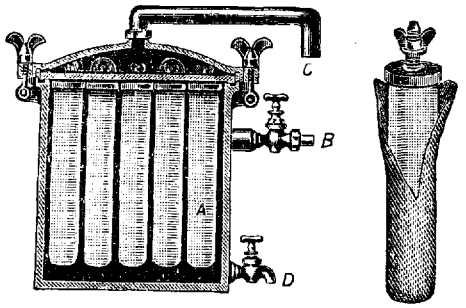
Лит.: Ферсман А., Химич. проблемы промышл., стр. 1—52, Л., 1924; Федоровский Н., Минералы в промышленности и сел. х-ве, 2 изд., Л., 1927; Химико-технич. справочник, ч. 1, Ископаемое сырье, вып. 1, 2 изд., Л., 1923, ч. 2, Л., 1925; Любимов А., Задания горной промышленности по импорту, «ГЖ», 1928, *9*, стр. 640; Ферсман А., Минеральное сырье в химич. промышл., «ЖХП», 1927, т. 4, *4*, стр. 277—282; его же, Больше внимания минер. сырью, «Торгово-пром. газета», Москва, 1929, *166*; Годовой обзор минер. ресурсов СССР за 1925/26 год, стр. 1—804, Л., 1927; «НИ», т. 2, 1927, т. 3, 1927, т. 4, 1929; Источники минер. сырья для химич. промышл., т. 1—3, Л., 1927—28; Frechette, Howell c, Rapport sur les minéraux nonmétalliques, Canada, 1917; Dammer B. u. Tietze O., Die nutzbaren Mineralien mit Ausnahme d. Erze, Kalisalze u. Kohlen u. d. Petroleums, 2 Aufl., B. 1—2, Stg., 1927—1928; Ladoo R., Non-Metallic Minerals, Occurence, Preparation, Utilisation, N. Y., 1925; Spurr J. a. Wormser F., The Marketing of Metals a. Minerals, N. Y., 1925; Stutzer O., Die wichtigsten Lagerstätten d. Nichterze, Berlin, 1911; Fersmann A., Probleme d. Nichterze in d. Weltwirtschaft, «Internat. Bergwirtschaft u. Bergtechnik», Lpz., 1929, *17*. **А. Ферсман.**

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ искусственные, напитки, изготовляемые из газированной CO_2 воды и растворенных в ней неорганич. солей (содовая, сельтерская, лечебные воды). Сюда же иногда относят также и фруктово-ягодные газированные воды, приготовляемые из фруктово-ягодных соков (морсов) и эссенций. М. в. впервые изготовлены в 1560 г. Турнейзером (Thurneiser). В России они получили широкое распространение во второй половине 19 в.

Производство искусственных минеральных и фруктово-ягодных вод в основном сводится к следующему. К чистой воде прибавляют по возможности в растворе соответствующие соли (в случае М. в.) или морсы, эссенции, сахар (в случае фруктово-ягодных вод), в смесь нагнетают CO_2 под давлением нескольких *atm* и полученной водой наполняют бутылки. Вода является главным видом сырья для производства искусственных М. в.; перед употреблением воды необходимо обратить внимание на источник, откуда она получается. Качество воды непосредственно обусловливает и качество вышеупомянутых вод; для этих же последних, как имеющих важное значение для жизни человека, безусловно необходимо, чтобы вода была чиста и не содержала микроорганизмов брожения, которые, попадая в соответствующую питательную среду (сахарные сиропы), развиваются и проявляют свою жизнедеятельность, вызывая нежелательные изменения в свойствах напитка.

Фильтрование. На больших з-дах, помещающихся в крупных промышленных центрах, где имеются хорошие водоочистительные станции, можно употреблять в производстве сырую воду, предварительно пропущенную через песочные, угольные и т. н. свечные фильтры. Можно также пользоваться и остуженным кипятком, хотя в таких случаях приходится иметь большие водохранилища, что чрезвычайно неудобно и неэкономно.

Наиболее распространенными и целесообразными фильтрами являются свечные фильтры Беркефельда (фиг. 1), состоящие из фильтровальных цилиндров *A*, заключенных в кожух, к-рый бывает или чугунный, внутри эмалированный, или литой медный, покрытый внутри слоем серебра или олова. Эти цилиндрич. формы, полые внутри, свечи (на фиг. 1 отдельно справа), изготовленные из инфузорной пористой земли, обожженной надлежащим образом, заканчиваются вверху медным никелированным ободком,



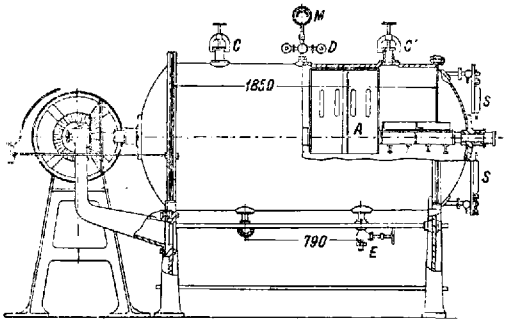
Фиг. 1.

имеющим в центре трубку с барашком для привертывания к рамке внутри кожуха. Вода под давлением водопроводной сети или при помощи насоса подается через входной штуцер *B* в нижнюю часть фильтра под рамку, проникает через поры стенок свечей внутрь их и затем через трубочку ободка в верхнюю часть кожуха и далее через штуцер *C* в крышке уже отфильтрованная идет на производство (изображенный на фиг. 1 кран *D* служит для спуска промывных вод). Пористые стенки свечей задерживают все взвешенные частицы и большую часть бактерий на своей наружной стороне. В зависимости от качества воды стенки свечей 3—4 раза в год очищают от осадка и кипятят в воде. Смотря по производительности фильтры изготовляют на 1, 3, 7 и т. д. до 39 свечей. При давлении в 2,5 *atm* незагрязненный фильтр в 27 свечей может подать $120 \cdot 27 = 3\,240$ *л/ч*. Песочные и угольные фильтры применяются как самостоятельно, так и последовательно соединенными с фильтром Беркефельда.

Сатурация (насыщение воды CO_2). Употребление CO_2 в М. в. имеет физиологич. значение, т. к. она влияет раздражающе на слизистые оболочки пищеварительных органов и быстрее утоляет жажду, а при хранении М. в. CO_2 служит одновременно консервирующим веществом. Раньше

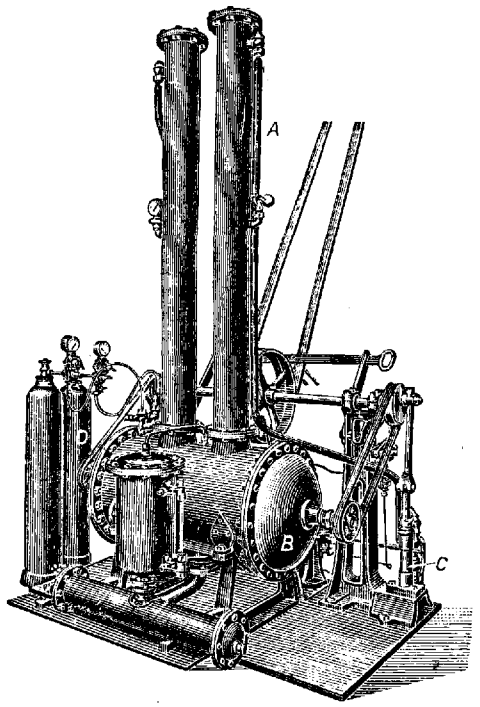
для газирования воды углекислоту получали в газообразном состоянии действием минеральной кислоты на известковый камень на самом з-де, что требовало громоздкой аппаратуры (т. наз. м е л о в и к о в) и системы очистительных колонок. Но со времени появления в продаже сравнительно дешевой жидкой CO_2 от получения углекислого газа на самом з-де отказались. Старую аппаратуру можно встретить лишь на небольших з-дах провинциальных городов. Употребление жидкой CO_2 допускает применение упрощенных аппаратов и позволяет работать быстро и чисто. Аппаратура для работы с жидкой CO_2 значительно дешевле, занимает мало места, дает большую экономию во времени приготовления М. в., в химическом отношении является чистой и не заключает в себе атмосферного воздуха. CO_2 доставляется с з-дов, ее изготовляющих, в стальных баллонах по 10—20 *кг* под давлением 70—80 *atm*.

Сатурация жидкой CO_2 производится в аппаратах, к-рые получили общее название с а т у р а т о р о в. Т. н. объемные сатураторы представляют собой цилиндрич., шаровой или овальной формы сосуды из листовой красн. меди, покрытой внутри слоем чистого олова или серебра, с насаженными на вал лопастями *A* мешалки (фиг. 2). Лопасти мешалки делают литыми из меди; вал обычно стальной, выложенный медью. На фиг. 2 изображен приводной цилиндрический сатуратор на 1 200 *л*. Через верхние штуцеры *C* и *C'* сатуратор на 0,9 его объема наполняют отфильтрованной водой и (если вырабатывается содовая или сельтерская вода) добавляют готовые растворы соответствующих солей (NaCl, Na_2CO_3). Затем из баллона с CO_2 через его редукционный вентиль (для создания постепенного перепада давления) «перепускается» CO_2. Одновременно приводится в движение вал, вращающийся со скоростью 50—60 об/м. Перемешивание производится в течение 30 мин. Выделяющийся из воды воздух, как более легкий по сравнению с CO_2, собирается на по-



Фиг. 2.

верхности воды, откуда через трубки штуцера *D* удаляется воздушным насосом. Газированная вода подается на производство через нижний вентиль *E*. Сатуратор снабжен манометром *M* и водомерным стеклом *SS* и, будучи аппаратом, работающим под давлением выше 1 *atm*, д. б. предъявляем для периодич. осмотров технич. инспекции. Все соприкасающиеся с водой части и арматура сатуратора д. б. тщательно вылужены оловом или высеребрены. Сальники вала набивают миндальным маслом или смесью в равных долях масла-какао, очищенного вазелина и спермацета. Такая набивка не



Фиг. 3.

придает воде ни привкуса ни запаха. Расчет стенок тела сатуратора производят по формуле Баха:

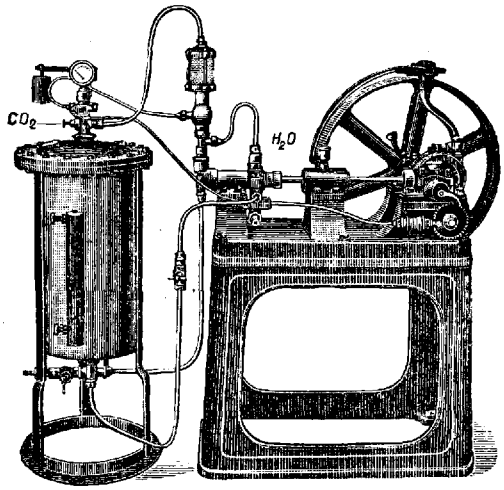
$$s = r\frac{p}{k_z},$$

где *s*—толщина стенки в *мм*, *r*—внутренний радиус в *мм*, *p*—рабочее давление в *atm*, k_z—допускаемое напряжение (для меди равное 450 *кг/см*²). Поверка толщины стенок крышек *s'* производится по ф-ле:

$$p = \frac{2\,k_z s'}{r'},$$

где *r'*—радиус кривизны в середине днища в *мм*. Расчет болтов ведется как обычно с учетом коэф. затяжки, к-рый берется = 1,2. Газирование воды производят в пределах от 3 до 6 *atm* при разливе в бутылки и от 6 до 9 *atm* при разливе в сифоны и медные баллоны. Сатуратор цилиндрич. формы наиболее распространен в СССР. Незадолго до войны 1914—18 гг. быстрое распространение получили к о л о н ч а т ы е сатураторы различной конструкции. В основном они представляют собою (фиг. 3) заполненную фарфоровыми или стеклянными шариками медную колонку *A* высотой от 1,5 до 2,5 *м*, установленную на более широком горизонтально или вертикально расположенном цилиндре *B*. Вода, поступая под давлением водопровода или насоса *C* сверху, распыливается по поверхности шариков мелкими брызгами и, встречаясь с поступающей из бал-

лона *D* в нижнюю часть аппарата CO_2, насыщается ею и подается через широкую часть сатуратора на производство. В позднейших конструкциях в нижнюю часть аппарата введена мешалка, производящая дополнительное перемешивание компонентов. Воздух, собирающийся в верхней части колонки, удаляется при помощи автоматич. клапана. Для увеличения пропускной способности аппарата устанавливают на одном цилиндре по две колонки. Производительность колончатых, иначе распыливающих или оросительных, аппаратов — от 400 до 3 000 *л/ч*. Они называются также аппаратами непрерывного действия, так как процесс перемешивания и поступления газированной воды на производство происходит непрерывно, в противоположность описанным выше объемным сатураторам, где процессы перемешивания и расхода газированной воды следуют друг за другом. Автоматич. удаление воздуха, равномерное насыщение воды CO_2, полное использование последней и непрерывность действия являются положительными качествами описанных аппаратов. В последнее время объемные сатураторы путем установки т. н. распылителя пре-



Фиг. 4.

вращают в непрерывнодействующие. Однако невозможность удаления атмосферного воздуха, всегда имеющегося в воде, отражается на качестве продукции. Из новейших аппаратов, еще не получивших у нас широкого распространения, но отличающихся простотой конструкции и небольшими размерами, можно указать на насыщающие насосы герм. фирмы Карл Крон, названные этой фирмой «насыщающими автоматами низкого давления» (фиг. 4). При давлении не свыше 1,5 *atm* и расходе энергии в 1 HP фирма гарантирует производительность до 600 *л/ч*.

Приготовление сиропов и морсов. Сахар, употребляемый для фруктово-ягодных вод, д. б. безусловно чист, поэтому сахарный песок представляет неподходящий материал для приготовления сиропа; сироп из сахара-рафинада гораздо лучше противостоит влиянию плесневых грибков, чем сироп из сахарного песка. Однако и обыкновенный сахар-рафинад также нельзя считать пригодным материалом для приготовления сиропов. В виду того что сахар на рафинадных з-дах подсиняется ультрамарином, последний же под влиянием к-т фруктовых соков развивает сернистый водород, присутствие которого в фруктово-ягодных водах нежелательно, рекомендуется заказывать на заводах сахар-рафинад без ультрамарина. Сиропы, содержащие пектиновые, белковые и т. п. вещества, а также содержащие соли, способствуют скорой порче напитка. При хранении сиропов необходимо их делать более концентрированными, т. к. последние гораздо лучше противостоят влиянию микроорганизмов, чем водянистые. Необходимо сиропы подкислять виннокаменной или лимонной к-той, что затрудняет развитие плесневых грибков при хранении сиропа. Варка сиропа, во избежание пригорания сахара, производится в обычных варочных котлах из красной меди с паровой рубашкой, снабженных манометром и предохранительным клапаном. Для перемешивания сиропа котлы м. б. снабжены мешалками с деревянными (дубовыми) или медными лопастями (см. *Варочные аппараты*). Подача сахара в котлы производится при помощи ковшевых самотасок. Если самотаска обслуживает несколько котлов, то распределение сахара производится установленным над котлами шнеком (вращающимся в корытообразном жолобе винтом). Такой шнек и самотаску можно использовать как для работы с сахарным песком, так и с некрупным рафинадом. После варки горячий сироп обыкновенно помощью сжатого воздуха или насоса перегоняется через фильтр-пресс в сиропохранилища—различ. формы медные луженые или алюминиевые баки. Фильтр-пресс представляет собой ряд заключенных в кожу сеток с проложенной между ними фильтровальной массой, т. н. «бриллиант». Сетки изготовляют из тканей медной проволоки, тщательно вылуженной или посеребренной. Один раз в сутки необходима разборка фильтр-пресса и промывка его частей и массы в горячей воде. Промытая и отжатая масса вновь прокладывается между сетками. На механизированных производствах сироп пропускают через суконные конусообразные фильтры, обкладываемые внутри фильтровальной массой. При большой потребности в сиропе последний искусственно охлаждают в баках со змеевиками, т. к. горячий сироп при разливе образует пену, вследствие чего получается недолив бутылок. Готовится сироп из раствора 2 вес. ч. сахара в 1 вес. ч. воды.

Из органич. к-т для фруктово-ягодных вод употребляют лимонную и виннокаменную к-ты, которые придают напитку кроме кислотности также и освежающее действие. В виду того что лимонная кислота является продуктом импортным, в настоящее время ведутся исследовательские работы по приготовлению фруктовых вод на молочной к-те. Для приготовления фруктово-ягодных вод употребляют фруктово-ягодные морсы, а также и фруктовые эссенции. Приготовление фруктово-ягодных морсов требует больших бродильных помещений, хороших

подвалов, а также довольно сложного оборудования. В настоящее время у нас в СССР наиболее употребительных сиропов, причем на бутылку в 0,6 *л* берется 140 *см*³ сиропа.

Примерная рецептура приготовления сиропов (в *л*) (на порцию в 22 *л*).

Наименование сиропов	Эссенция	Раствор лимон. к-ты	Желтый подцвет	Красный подцвет	Морс	Сахарный сироп	Количество воды, добавляемой в купаж
Ситро	0,08—0,09	0,45—0,50	0,09—0,11	—	—	8—8,5	13—12
Клюквенный .	0,022—0,025	0,2—0,35	—	0,02—0,25	8—10	7,5—8	6—3
Лимонный . . .	2,5—3,0	0,4—0,45	—	—	—	8—8,5	11—12
Абрикотин . . .	0,05—0,06	0,4—0,45	—	0,07—0,08	—	8—8,5	8,5—9
Вишневый . . .	0,020—0,025	0,2	—	0,2	1,1	8,5	10
Черносмородинный	0,14—0,15	0,1—0.5	—	0,2	11	8,5	2

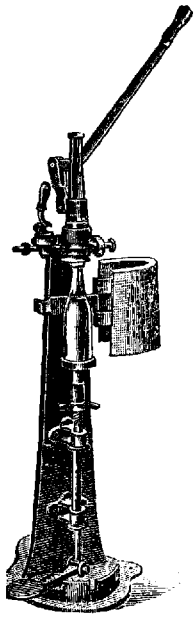
насчитывается всего несколько з-дов, работающих на натуральных фруктово-ягодных морсах (например завод минеральных вод Моссельпрома).

Ягоды и фрукты, поступающие на завод для приготовления из них морса, проходят следующие процессы. Ягоды поступают на мялку, представляющую собой систему вальцов с насеченными по их поверхности канавками для захвата ягоды; в зависимости от величины ягоды расстояние между вальцами м. б. изменено. После мялки раздробленная ягода попадает прямо в бродильные кадки, в к-рые добавляют воду (подогретую), доводят $t°$ массы до 20—25° и оставляют бродить при $t°$ помещения не выше 25°. Процесс брожения заканчивается в течение 12—14 дней, после чего мязгу отжимают на ручном или гидравлич. прессе (см. *Виноделие*, фиг. 2 и 3), а морс перекачивают в бочки (емкостью ок. 360 *л*) и отправляют в подвалы для дображивания. Полное созревание морса достигается в 8—9 месяцев. Дображивание морса происходит самопроизвольно; в последние годы ведутся работы по исследованию брожения морсов и опыты в целях более быстрого их дображивания. Перед употреблением морс фильтруют. Фильтрацию производят через грубошерстные суконные фильтры конусообразной формы, насаженные на рамки в несколько ярусов (3—4), как предложено В. М. Тржецяком. В фильтровальные мешки кладут обычную асбестовую фильтровальную массу. Подачу морса в фильтры производят ручными (посеребренными внутри) насосами или при помощи сжатого воздуха. Готовый морс не обладает достаточным запахом, а поэтому при купажировании напитков употребляют также фруктовые эссенции. Последние м. б. натуральные (настойки лимонная, апельсинная, мандариновая, ванильная) и синтетические.

К у п а ж и р о в а н и е (смешение) ведется в кадках, из к-рых сироп обычно самотеком поступает в дозировочные аппараты. Возможно также купажирование в сатураторах, но в последнее время от этого отказались, т. к. при этом происходит быстрое разъедание внутренних поверхностей аппаратуры, за исключением приготовления содовой и сельтерской вод. В виду того что натуральный морс недостаточно окрашивает готовый напиток, применяют растительные краски, гл. обр. «орсель» и «колер» (жженый сахар), соответственно цвету натурального напитка. В следующей таблице приведена рецептура

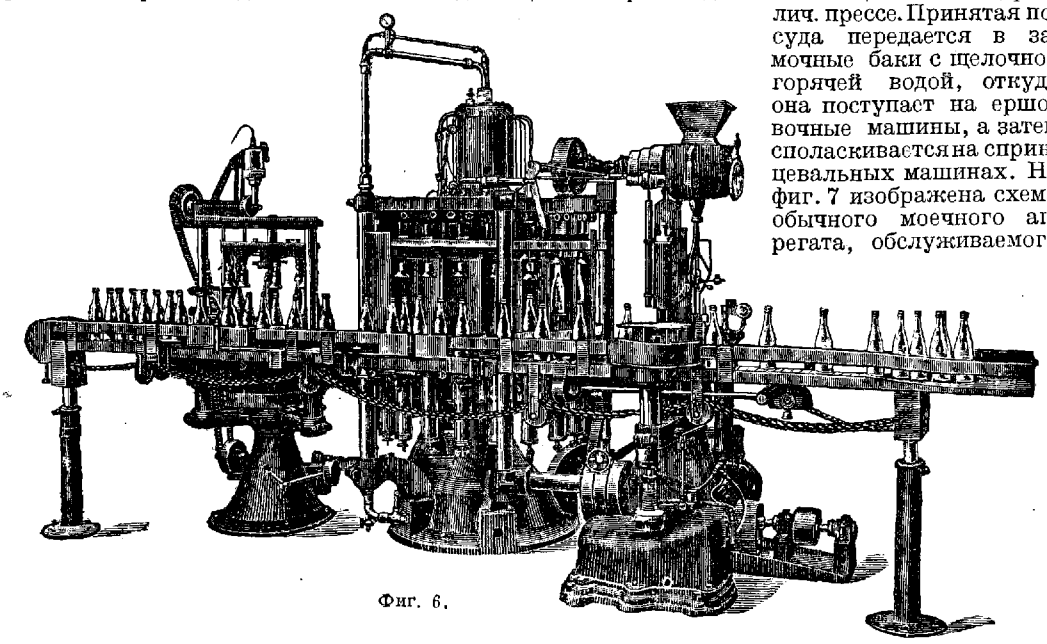
Для приготовления содовой воды в сатуратор емкостью 500 *л* наливают 250 *л* воды, добавляют 4,5 *л* раствора поваренной соли (от 20 до 22° Bé при 15°) и 13,5 *л* раствора Na_2CO_3 (12° Bé). Все это перемешивают и дополняют остальным количеством воды до 0,9 полного объема сатуратора. Газировка длится 30—45 мин. Приготовление сельтерской воды происходит так же, как и содовой, но с добавлением хлоридов.

Д о з и р о в к а с и р о п а ранее производилась вручную мерками-черпачками, затем перешли к дозировочным ручным насосам; в последнее же время получили распространение т. н. «ротационные» дозировочные аппараты, приводящиеся в действие или механич. двигателем или от руки. Производительность таких аппаратов при обслуживании их 2 работницами достигает 12—13 тыс. единиц за 8 ч. Общий всем сироподозировочным аппаратам недостаток, это быстрое разъедание соприкасающихся с сиропом (в особенности клюквенным) частей, вследствие чего получаются неравномерность порций и утечка сиропа. В самое последнее время делаются попытки применения здесь кислотоупорной бронзы. Бутылки с сиропом по транспортеру или на тележках поступают на разливно-купорочную машину (к у п о р к у), где их заполняют газированной водой и закупоривают корковой пробкой. В последнее время с успехом применяют т. н. к р о н п р о б к и, т. е. металлич. колпачки с заложенным внутрь тонким слоем пробки, плотно надеваемые на венчик бутылки. На фиг. 5 изображена ручная купорка для газированной воды. Газированная вода из сатуратора поступает через кран слева, а пробка закладывается в верхнее отверстие головки купорки. Подставив бутылку и подав ее нажимом ноги на педаль кверху, левой рукой закладывают пробку. По наполнении бутылки рукоятку купорки опускают вниз, вследствие чего соединенный с рукояткой



Фиг. 5.

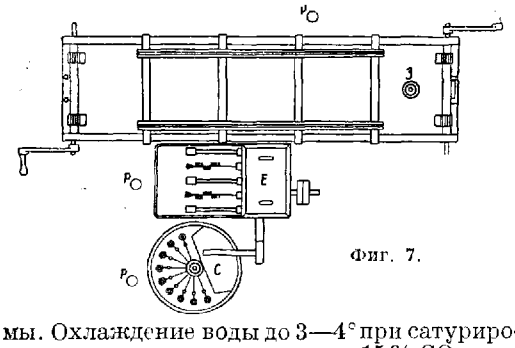
стержень продавливает пробку в горло бутылки (пробка предварительно пропаривается во вращающихся барабанах). После укупорки бутылки поступают на браковку, обвязку проволокой и этикетировку. На фиг. 6 изображен один из новейших дози-



Фиг. 6.

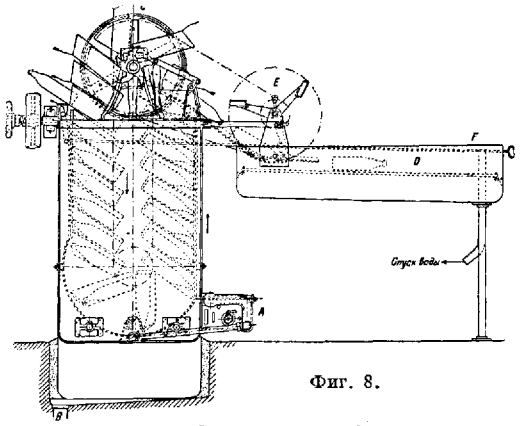
ровочно-разливочно-укупорочных агрегатов герм. фирмы Ortmann & Herbst, представляющий собою автоматически действующий аппарат, причем отдельные части его соединены общим транспортером. Бутылка подается на дозировочный аппарат, наполняется сиропом, автоматически передается на разливную машину, наполняется газированной водой и дальше следует на укупорочную машину, где закупоривается металлич. пробкой. Производительность такого агрегата, обслуживаемого двумя рабочими, достигает 48 тыс. единиц за 8 ч.

На каждом б. или м. крупном з-де М. в. обязательно устройство холодильной систе-



Фиг. 7.

мы. Охлаждение воды до 3—4° при сатурировании дает экономию не менее 15% CO_2, т. к. растворимость последней находится в зависимости от $t°$ воды. Охлаждение помещения для хранения морса, помещения для хранения готовой продукции, наконец охлаждение сиропа также требуют большого расхода холода. При выработке в одну смену 50 000 *л* продукции расход холода определяется примерно в 200—250 тыс. Cal. Наличие компрессора для получения сжатого воздуха также является необходимым на з-де М. в. Испытание поступающей на з-д посуды для М. в. производится на специальном гидравлич. прессе. Принятая посуда передается в замочные баки с щелочной горячей водой, откуда она поступает на ершовочные машины, а затем споласкивается на спринцевальных машинах. На фиг. 7 изображена схема обычного моечного агрегата, обслуживаемого тремя рабочими *P* и состоящего из замочного бака *B*, ершей *E* и спринцовки *C*. Производительность такой мойки до 8 тыс. единиц за 8 ч. На фиг. 8 схематически изображена в разрезе т. н. танковая моечная



Фиг. 8.

машина америк. фирмы Meyer Simplex. Производительность машины этой фирмы при затрате энергии в 0,5 HP и обслуживании 2 рабочими достигает 4 870 бутылок емкостью в 1 пинту (0,568 *л*) в час. Бутылки закладываются в металлич. гнезда (по 4—8 в ряд), насаженные на цепь, вращающуюся в направлении, указанном стрелками, вследствие чего бутылка погружается в бак, заполненный 3%-ным щелочным раствором. В целях лучшей циркуляции воды последняя может подогреваться газовой горелкой *A*. При отсутствии же газа вода может подо-

греваться паровыми змеевиками. Спуск *B* загрязненной воды, как обычно, помещен в нижнем углу шахты. Бутылки, пройдя по истечении 15—30 мин. через бак (время прохождения в зависимости от степени загрязнения и назначения посуды регулируется изменением числа оборотов маховика *C*), выпадают в горизонтальную ванну *D*, заполненную чистой водой. При выходе посуды из бака во избежание боя установлен маховик *E* с лопастями, имеющими на конце резиновые или деревянные подушки, воспринимающие на себя удар бутылки, скатывающейся в ванну. В конце ванны у стойки *F* устанавливают иногда ерш и контрольные спринцовки, что у нас в СССР, в силу требований санитарной инспекции, обязательно. Вся установка при максимальной высоте в 3 *м* занимает площадь в 2,4×2,0 *м*.

Лит.: Клинге А., Искусств. минер. воды, лимонады и напитки брожения, СПБ, 1913; Альмединген А., Руководство приготовления искусств. минер. вод, лимонадов и фруктово-ягодных напитков, СПБ, 1896; Кварициус, Целебные минеральные воды и шипучие напитки, СПБ, 1882; Поземский М., Практич. общепонятное руководство к производству натуральных шипучих вод, Остров, 1903; Ферстер И., Руководство к специальному изучению искусств. минер. вод, М., 1884; Циммерман А., Химич. и бактериологич. исследование искусств. минер. вод в г. Юрьеве, СПБ, 1900; Степанов Н. В., Аппаратура производства искусств. минер. и фруктово-ягодных вод, М., 1930; «Пищевая промышл.», М., 1929, *6*; Jacobsen E., Handbuch f. d. Getränke-Industrie, Berlin, 1925; Evers F., Der praktische Mineralwasserfabrikant, Lübeck, 1917; Taschenkalender f. Mineralwasser-Fabrikanten, hrsg. v. W. Lohmann, 30 Jg., Lübeck, 1929; Mitchell C., Mineral and Aerated Waters and the Machinery for Their Manufacture, L., 1913; Ray G., Manuel des vins, cidres, poirés, eaux gaseuses, Paris, 1923; Piard A., Manuel pratique du fabricant de boissons gaseuses et de sirops, Paris, 1913; «British and Colonial Mineral Water Trade Journal», L., «Soda Fountain», N. Y.; «Der Mineralwasser-Fabrikant», Lübeck; Fachzeitschr. für die Industrie künstlicher Mineralwässer, alcoholfreier Getränke und Brauserlimonaden, Lübeck; «Der Mineralwasserhandel», B. **Н. Степанов и В. Тржецяк.**

МИНЕРАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ, выходящие на земную поверхность при естественных условиях или поднятые искусственно потоки подземной воды, содержащей в растворе различные соли и газы, иногда нагретой до высокой темп-ры. В последнем случае М. и. называются термами. Слабо минерализованные термы носят название индиферентных М. и. (акратотермы). Происхождение воды М. и. независимо от химич. состава и количества газов, ими выносимых, раньше относили за счет атмосферных осадков. Считалось, что поверхностные (метеорные) воды, просачиваясь внутрь земной коры, попадают в области более высокой темп-ры, нагреваются и, двигаясь в нагретом состоянии по слоям различных горных пород, выщелачивают заключенные в них соли и из пресных превращаются в минеральные. Считалось даже возможным вычислить глубину проникания атмосферной воды, исходя из той средней величины так называемой геотермической ступени (геотермический градиент), принимаемой в 32—35 *м*, на к-рую надо углубиться в земные слои, чтобы темп-ра поднялась на 1°. Такая схема происхождения М. и., исходившая для всех их из одинаковой причины, давала возможность классифицировать М. и. только по каким-нибудь внешним признакам, устраняя необходимость генетического подразделения. Но постепенно выяснилось, что многие М. и. обладают особенностями, к-рые не м. б. объяснены этой простой схемой. К числу таких особенностей относятся: солевой состав многих М. и., часто совсем не соответствующий составу местных горных пород; не объяснимое никакими реакциями в земной коре огромное количество газов, особенно CO_2, которое выносят с собою многие М. и.; географич. распределение М. и. преимущественно в областях с нарушенным залеганием осадочных пород и главным образом в районах, где отчетливо выступают новейшие дислокационные явления, сопровождаемые излияниями на поверхность или в верхние части земной коры молодых горных пород огненно-жидкого (магматического) происхождения.

Для объяснения происхождения М. и. австрийский геолог Э. Зюсс в 1902 г. предложил следующую гипотезу: многие воды, в особенности термальные, не имеют с атмосферными осадками ничего общего, а наоборот, связаны с теми большими глубинами земной коры, где залегает магма. Постепенно остывая и кристаллизуясь, магма непрерывно выделяет газы и пары и те легко летучие соли, которые при высокой температуре еще не перешли в твердое состояние. Вся эта газообразная смесь, обладая малым уд. весом, стремится вверх, к земной поверхности, и на своем сложном пути по трещинам отдельностей в породах и глубоким структурным линиям разломов проходит области с различной физико-химич. обстановкой, в к-рой все время меняются и давление и температура. Медленное, но неуклонное охлаждение последовательно переводит одни составные части солей в жидкое состояние, другие в твердое, и таким путем возникает горячий водный раствор различных солей и газов, все составные части которого произошли из медленно остывающей магмы. Газовая смесь, сопровождающая этот раствор, стремясь к известному химическому равновесию, отвечающему данному давлению и $t°$, меняет свой состав. Однако магма, находясь на глубине и обладая весьма большой вязкостью, не будет отдавать растворенные в ней газы или будет отдавать их с большим трудом. Только при переходе в жидкое состояние отделение из магмы летучих составных частей будет совершаться с большой легкостью. Это становится возможным при понижении давления, под которым магма находится, и случается только тогда, когда до тех больших глубин, на которых она залегает, достигнут в результате тектонических процессов глубокие расколы и разломы. В таких случаях магма может или подняться до поверхности и дать начало образованию вулкана или занять какое-нибудь положение в толще коры и, медленно остывая и превращаясь в твердую горную породу, веками и тысячелетиями отделять свои легко летучие составные части. Продукты, выделяемые термальными М. и. (газы, соли, самую воду), Зюсс назвал ювенильными, т. е. девственными; составные части их при выходе на дневную поверхность впервые попадают в

условия земной атмосферы. Если большинство ученых в настоящее время вполне согласно с гипотезой Зюсса относительно происхождения в М. и. многих газообразных веществ и нек-рых солей металлов, в особенности тяжелых и щелочных, то далеко нет единодушия в вопросе о происхождении той воды, которая, растворяя все эти соли и газы, является основным субстратом каждого М. и. Тут мнения расходятся. Так, Готье, основываясь на своих опытах, предполагает, что магма содержит пары воды или элементы, необходимые для ее образования при подходящих условиях. В доказательство он приводит факт, что каждая горная порода магматического происхождения при нагревании в вакууме до 600—800° выделяет вместе с некоторыми газами и воду. Наоборот, Брюн (Brun), изучивший много действующих вулканов, отрицает присутствие ювенильной воды среди продуктов вулканических извержений и делает вывод о безводности самой магмы. Американцы Дей (Day) и Шеперд (Shepherd) открыли (1913 г.) в газообразных продуктах вулкана Килауеа (о. Гавайи) присутствие воды, к-рую они считают ювенильной. К этим же выводам приходит и Джаггор, директор вулканологич. обсерватории на о. Гавайе. Двойственность решения вопроса о происхождении воды минеральных источников мы найдем и у американских геологов, большинство которых высказывается в пользу метеорного происхождения главной массы воды в М. и., хотя и не отрицает окончательно некоторой роли воды ювенильной. Экспериментальная петрография и экспериментальная минералогия окончательно пришли к выводу, что образование многих минералов происходит в магме в присутствии воды, которая затем входит в состав нек-рых типичных магматических минералов, в особенности возникающих в последние периоды жизни магмы как огнежидкого расплава. С геологич. точки зрения идея Зюсса в том виде, как он ее изложил, не выдерживает критики. Идущий снизу ток газов и солей, растворенных в ювенильной воде, обязательно встретит в той или иной близости к поверхности водоносный горизонт, возникший за счет проникновения в земные слои атмосферных осадков, и смешается с ними. Даже там, где нет определенных водоносных горизонтов, как в кристаллич. породах, всегда есть метеорная вода, проникающая в эти породы по сети рассекающих их трещин. Следовательно даже близ действующих вулканов не может быть выходов минеральных терм с чисто ювенильными составными частями— везде будут источники смешанные. Итак, можно полагать, что ювенильные М. и., по терминологии Зюсса, в их наиболее чистом виде — большая редкость, а может быть и вовсе не существуют на земной поверхности (за исключением газов, выделяющихся из сольфатар и непосредственно из лавы). Подавляющее же большинство М. и., отличающихся обильным выделением газов, постоянством химического состава и дебита (количество воды в единицу времени) и оригинальным составом солей, относится к числу смешанных: газы в них ювенильные, а вода и соли имеют двоякое происхождение. Иногда при хорошей геологической и гидро-геологической изученности района такого смешанного источника можно даже вычислить, какое количество тех и других элементов, ювенильных и вадозных (воды атмосферного происхождения), принимает участие в составе источника. По расчетам проф. А. Н. Огильви, относящимся к кисловодскому нарзану, в нем на 1 *л* глубинной воды приходится больше 1 *л* поверхностной воды. Можно даже показать, что и сама глубинная вода («доломитный нарзан», «источник имени А. Н. Огильви»), богатая сульфатами,—тоже смешанная и образуется из бессульфатных вод глубинного происхождения и сульфатных вод надъюрского горизонта.

На обширной территории СССР воды с содержанием ювенильных составных частей в большом количестве известны на Кавказе, в Забайкальи и на Камчатке. Представители их имеются в хребтах системы Тянь-Шаня и Ср. Азии и отчасти на Урале, но в последнем районе они обнаруживают скорее уже преобладание поверхностных элементов над ювенильными.

Разнообразие М. и. конечно не исчерпывается ювенильными и смешанными. Существует еще и третий тип М. и., происхождение и жизнь которых целиком связаны с атмосферными осадками и циркуляцией подземных вод поверхностного происхождения. Это, по терминологии Зюсса, — вадозные М. и. Вода этих М. и., будучи атмосферного происхождения, во время странствования от места своего проникновения по земным слоям до места нового выхода на поверхность приобретает и свой солевой состав и свою темп-ру. Ясно, что состав солей того или другого источника целиком зависит от характера тех солей, к-рые вода выщелачивает из проходимых ею горных пород, а $t°$ будет обусловлена той глубиной, до к-рой вода на своем пути опустилась в толщу земной коры. Такие воды, двигаясь по поверхности первого встреченного ими водонепроницаемого слоя, или вместе с ним выходят на поверхность где-нибудь в долине в виде нисходящего источника или же под давлением своего напора поднимаются по трещинам в виде восходящего ключа; они м. б. получены также искусственным путем в виде артезианской струи. Такие воды свойственны областям с любой геологической структурой и обычны на пространстве Европ. части СССР, где они характеризуются преобладанием то поваренной соли (Старая Русса, Славянск), то гипса (Хилово, вблизи Пскова), то солей железа (Липецк),— таких составных частей, присутствие которых, как и часто встречающегося среди таких вод сероводорода, легко объясняется или геологическим составом окружающей местности или простыми реакциями окисления распространенных в осадочных толщах минералов (пирит). Такие вадозные источники отличаются зависимостью своего режима от сезонных колебаний темп-ры осадков: в засушливое время они имеют малый дебит и высокую минерализацию, а в дождливые периоды их дебит велик, а минерализация мала.

Каждый источник постольку нуждается в охране, поскольку питающие его атмосферные воды в областях своего питания могут подвергнуться загрязнению или заражению населением, животными или устройством промышленных предприятий с вредными отбросами, способными проникать в почву и подмешиваться к воде. На пути своего следования или в области питания эти воды могут быть умышленно или неумышленно перехвачены, отведены в сторону полностью или частью, и таким образом источник может лишиться всей или части своей воды. Все такого рода возможности устраняются учреждением путем законодательных актов или обязательных постановлений т. н. округов охраны, охватывающих всю ту часть поверхности земли, в пределах которой воды должны находиться под защитой закона.

На месте выхода М. и. должен быть каптирован, т. е. заключен в такое искусственное сооружение (каптаж) самого различного типа (колодец, буровая скважина, галлерея, барраж и пр.), к-рое обеспечило бы его от возможности подмеси посторонних вод и вместе с тем сохраняло бы в наибольшей мере все те его свойства, к-рые сочтены полезными в лечебных целях.

В целях надзора за сохранением М. и. его основных свойств следует периодически измерять его темп-ру и дебит; необходимо от времени до времени подвергать проверке и степень его минерализации, т. е. то количество солей, которое получается при выпаривании единицы объема воды, а также и устойчивость самого характера минерализации, для чего достаточно определять анализом содержание одной-двух наиболее важных составных частей.

Обычно, в особенности в медицинских книгах, М. и. классифицируют в несколько групп по их важнейшим составным частям: различают воды соленые, гипсовые, железистые, глауберовые и т. д. Однако в приемах такой классификации далеко нет единства, и так как правильность самого метода изображения типа минерализации в виде ряда определенных солей в наши дни подвергнута сомнению, то здесь примеры таких группировок не приводятся. См. *Вода*.

Лит.: Ог Э., Геология, пер. с франц., т. 1, 3 изд., Москва, 1924; Герасимов А., Огильви А., Фогт К. и др., Минеральные воды, «Ест. произв. силы России», т. 4—Полезные ископаемые, 2 изд., П., 1922, вып. 40, стр. 1—15; его же, Минеральные воды и их связь с геологической структурой, «Труды V Курортного съезда», М., 1926, стр. 253—261; Стопневич А. Д., Минеральные воды, П., 1920; Огильви А. Н., Краткий обзор геологических исследований около источника Нарзан в Кисловодске, «Изв. Геол. комитета», СПБ, 1909, т. 28, 8, стр. 597—630; его же, К вопросу о генезисе Ессентукских источников, «Труды Геол. ком.», СПБ, 1914, вып. 98; его же, Каптаж Нарзана и его история, там же, 1911, вып. 58; его же, К вопросу о происхождении минеральных источников района Кавказских минеральных вод, «Труды Бальнеологич. ин-та на Кавказских минер. водах», Пятигорск, 1925, т. 2; Карстенс Э. Э., О нарзанах района Кисловодск—Эльбрус, «Зап. Бальнеологич. общества в Пятигорске», 1908—09, т. 10, 4, стр. 215—261; Бертенсон Л. Б., Лечебные воды, грязи и морские купанья в России и за границей, СПБ, 1901; его же, Радиоактивность в лечебных водах и грязях, СПБ, 1914; Мушкетов И. В., Физич. геология, 3 изд., т. 2, стр. 213—221, М.—Л., 1926 (переработка и дополнения Д. И. Мушкетова); Мушкетов Д. И., Краткий курс общей геологии, стр. 184—186, М.—Л., 1929; Elie de Beaumont, Notes sur les émanations volcaniques et métallifères, «Bull. de la Societé Géologique de France», Paris, 1847, série 2, v. 4, p. 1249—2334; Suess E., Über heisse Quellen, Lpz., 1902; Delkeskamp R., Juvenile u. vadose Kohlensäure, «Zeitschrift f. praktische Geologie», Halle, 1906, B. 14, p. 33—47; Gauthier A., Les eaux minérales et leur rapport avec le volcanisme, «Annales des mines», série 10, P., 1906, t. 9, livre 3, p. 316—370; Brun A., Recherches sur l'exhalaison volcanique, Genève—P., 1911; Day A. L. et Shepherd E. S., L'eau et les gaz magmatiques, «CR», 1913, t. 157, *20*, p. 958—961; Day A. L. et Shepherd E. S., Conclusions à tirer de l'analyse des gaz du cratère du Kilauea, ibid., t. 157, *21*, p. 1027—1030, Paris, 1913; Day A. L. et Shepherd E. S., Water and Volcanic Activity, «Bulletin of the Geological Society of America», New York, 1913, v. 24, *4*, p. 573—606; Jaggar T. A., Volcanologic Investigation at Kilauea, «American Journal of Science, New Haven, Connecticut, 1917, 4 series, v. 44, *261*, p. 161—220; Sosman R. B., General Summary of the Symposium on Hot Spring, «Journal of Geology», Chicago, 1924, v. 32, *6*, p. 468—471.

А. Герасимов.

МИНЕРАЛЬНЫЕ КРАСКИ, см. *Краски минеральные*.

МИНЕРАЛЬНЫЕ МАСЛА, см. *Нефти*.

МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ, или неорганические удобрения. Все удобрения можно разбить на две группы: А) природные, или естественные, и Б) искусственные. Первая группа удобрений м. б. подразделена на две подгруппы: 1) *органические удобрения* (см.) и 2) М. у., или неоргинич. удобрения. К минеральным природным удобрениям относятся следующие: а) из калийсодержащих—каинит, карналлит, полгиллит, сильвинит и другие менее важные с точки зрения с. х-ва калийсодержащие минералы: мусковит, биотит, нефелин и т. д.; б) из фосфорсодержащих удобрений—фосфорит; в) из азотсодержащих удобрений—чилийская селитра; г) из кальцийсодержащих—гипс и разнообразные минералы и породы, богатые $CaCO_3$. И наконец в группу естественных М. у. входит *зола* (см.), содержащая главн. обр. кальций и калий (или наоборот: калий и кальций, в зависимости от происхождения золы), а также достаточные количества фосфора. Вторая группа—искусственные удобрения, за небольшим исключением, напр. мочевина, искусственный навоз, препараты из торфа и т. д., включает в себя по преимуществу неоргинич. удобрения. В настоящее время искусственные неоргинич. удобрения играют в народном хозяйстве огромное значение. По содержанию в них питательных веществ они делятся: 1) на удобрения, содержащие азот: норвежская селитра, цианамид кальция, сульфат аммония, азотнокислый аммоний, хлористый аммоний; 2) удобрения, содержащие фосфорную к-ту: суперфосфат (простой и двойной), преципитат, томасшлак, реанаиафосфат и разные термофосфаты; 3) удобрения, содержащие калий: хлористый калий, серпокислый калий, сернокислый калий-магний и т. н. калийные соли с разным содержанием калия в форме KCl; 4) содержащие известь: жженая известь и гашеная, или пушонка; 5) сложные комбинированные удобрения, содержащие по 2 или по 3 важнейших из питательных веществ (N, P_2O_5 и K_2O); сюда относятся: аммофосы ($N+P_2O_5$), потазоты ($N+K_2O$) и нитрофоски ($N+P_2O_5+K_2O$). См. *Азотные удобрения*, *Известкование почв*, *Калийные соли*, *Фосфорные удобрения* и *Удобрение*.

Д. Дружинин.

МИНИМАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ. Начало теории М. п. положено в 1760 г. мемуаром Лагранжа. Лагранж ставит такую задачу: из всех поверхностей, проходящих через данный замкнутый контур (Γ) в пространстве, выбрать ту, которая обладает наименьшей площадью. Эту поверхность с наименьшей площадью Лагранж и называет минимальной: она даст следовательно наименьшее значение интегралу:

$$\int\int_{(\Gamma)} \sqrt{1+p^2+q^2}\,dxdy,$$

где

$$\frac{dz}{dx}=p \text{ и } \frac{dz}{dy}=q.$$

Лагранж показал, как, исходя из этого свойства, найти диференциальное ур-ие М. п. Оно имеет вид:

$$(1+q^2)r-2pqs+(1+p^2)t=0; \quad (1)$$

здесь

$$\frac{d^2z}{dx^2}=r; \quad \frac{d^2z}{dxdy}=s; \quad \frac{d^2z}{dy^2}=t.$$

Из этого ур-ия следует, что сумма главных радиусов кривизны М. п. в каждой точке равна нулю (Менье, 1776 г.). К числу простейших М. п. принадлежат: винтовая поверхность: $z=\operatorname{arc\,tg}\frac{y}{x}$, катеноид: $y^2+z^2=\frac{a^2}{4}\left(e^{\frac{x}{a}}+e^{-\frac{x}{a}}\right)^2$, поверхность Шерка: $e^{az}=\frac{\cos ax}{\cos ay}$.

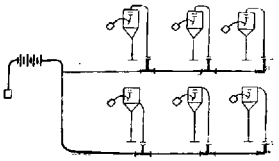
Ур-ие (1) было проинтегрировано впервые Монжем (1784 г.). Решение Монжа было усовершенствовано Лежандром, Бьерлингом и некоторыми др., но особенно многим теория М. п. обязана Вейерштрассу; он впервые вполне отчетливо указал на ту связь, которая существует между теорией М. п. и теорией функций. Согласно Вейерштрассу, всякая аналитич. ф-ия определяет нек-рую М. п. С теорией М. п. связано решение задачи Плато о форме мыльной пленки, проходящей через металлич. контур (Γ). Решение ее достигается выбором того интеграла уравнения (1), который проходит через данный контур (Γ). Эта задача, требующая применения всех наличных ресурсов математич. анализа, в настоящее время решена только для контуров самого простейшего вида. Решением этой задачи занимались Риманн, Вейерштрасс, Шварц и др. По своей связи с самыми разнообразными частями математики теория М. п. является одной из наиболее интересных глав математического анализа.

На свойствах М. п. основаны выводы теории капиллярности (см. *Капиллярные явления*) о форме поверхности жидких тел, принимаемой ими под действием *поверхностного натяжения* (см.).

Лит.: Darboux G., Théorie des surfaces, t. 1, Paris, 1914; Bianchi L., Vorlesungen über Differentialgeometrie, 2 Aufl., Lpz., 1910.

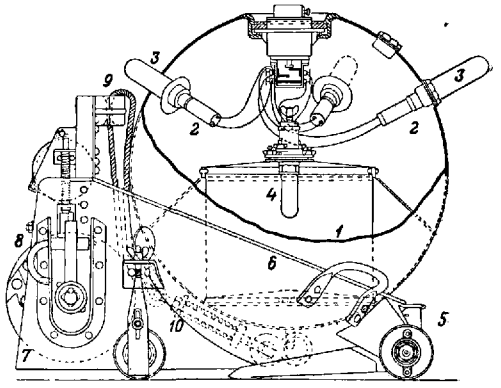
МИННОЕ ДЕЛО, отрасль инженерной науки, изучающая применение взрывчатых веществ для производства подземных и подводных взрывов с применением подготовительных и вспомогательных работ. В военном деле—устройство подземных галлерей, подкопов и установка мин в земле во время позиционной или крепостной войны. В горном деле — производство подземных работ при проведении выработок и закладка зарядов взрывчатого вещества в буровых скважинах (см. *Взрывные работы*). В морской войне—установка мин около берегов и в водных районах для обороны против надводных судов и подводных лодок.

Морские мины м. б. разделены на два основных класса: станционные и автономные, в зависимости от того, происходит ли их взрыв с берега или автоматически от соприкосновения с неприятельским кораблем. Станционные мины (фиг. 1) обычно управляются и взрываются электрич. током с берега или с какой-либо плавучей базы, связанной электрич. кабелем с миной. Наличие электрич. кабеля делает постановку станционных мин громоздкой, дорогой и возможной лишь не далее 10 миль от береговых станций. По способу производства взрыва мины классифицируются на контактные — когда взрыв происходит от соприкосновения корабля непосредственно с самой миной, и неконтактные—когда взрыв производится каким-либо другим путем.



Фиг. 1.

Взрыв контактной мины м. б. достигнут различными способами, соответственно которым мины разделяются на механические, химические и электрические; в первых действует курковое или терочное приспособление, вторые взрываются в момент когда от



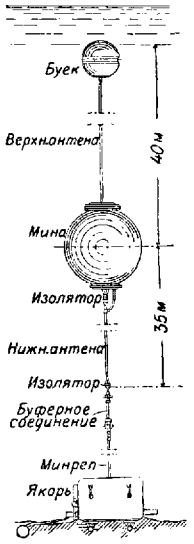
Фиг. 2.

удара извне происходит химич. реакция, результатом чего является повышение $t°$, и наконец последние детонируют от запалов гремучей ртути, взрываемых электрич. током. Контактная мина представляет собой корпус из клепаных или сварных стальных листов грушевидной или сферич. формы (фиг. 2). Внутреннее помещение мины разделяется металлич. перегородкой на два отделения, из к-рых нижнее служит для помещения заряда 1, а верхнее—воздушной камерой с целью придать мине определенную плавучесть и остойчивость. В зарядном отделении помещается взрывчатый состав, б. ч. состоящий из шашек влажного пироксилина. В верхней части мины расположены 3 или 5

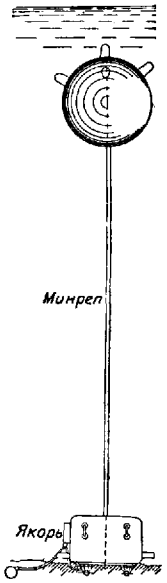
втулок с вставленными в них углецинковыми батареями *2*. На верхней сферич. поверхности располагают свинцовые колпаки *3*, внутри которых помещены стеклянные трубочки с раствором двухромокалиевой соли (мина Герца). При ударе судна о корпус мины ломается свинцовый колпак, причем двухромокалиевая соль из сломанной трубки выливается в батарею, к-рая т. о. и заряжается. Ток проходит через запал *4* и взрывает его. На фиг. 2 изображено положение мины на палубе корабля: *5*—ролики для передвижения мины по рельсам, *6*—чашка якоря, в которую укладывается мина, *7* — вьюшка якоря для наматывания минрепа (стального троса), *8*—рама, в которой вращается вьюшка, *9* — минреп, один конец прикреплен к мине, другой к якорю, *10* — палубные захваты для крепления мины к палубным рельсам в походном положении корабля.

Неконтактные мины взрываются или способом включения электрич. ск. тока или автоматически. Мины, взрываемые способом включения электрич. тока, т. н. о б с е р в а ц и о н н ы е м и н ы, связаны кабелями с берегом или плавучими базами и потому мало удобны и в некоторых случаях совершенно бесполезны, напр.—против погруженных подводных лодок. Мины неконтактные автоматические получили в минувшую войну большое развитие и применение (одними американцами было поставлено в Северном море ок. 60 000 мин). Неконтактные мины можно разделить на две категории: а) мины, имеющие антенну, соприкосновение корабля с к-рой вызывает взрыв мины (фиг. 3); б) мины, взрывающиеся или от действия магнитных сил, излучаемых металлич. массой корабля, или от действия сложной системы колебаний, вызываемых машинами на идущем корабле. Мины с антенной имеют значение гл. обр. как средство борьбы с подводными лодками, т. к. благодаря антенне увеличивается район действия минного поля. Мины магнитные и другие чисто неконтактные мало применялись из-за хрупкости и сложности приборов, а также и потому, что действие этих взрывных приборов зависит от величины, скорости и различных магнитных масс корабля, благодаря чему возможен или преждевременный взрыв мины или его запаздывание. Идея взрыва мины на расстоянии без проводов заключается в том, что местный ток приемника, будучи замыкаем под влиянием электромагнитных волн станции отправления, взрывает запал, чем вызывает и взрыв мины. Предохранение мины от несвоевременного взрыва может осуществляться: 1) настройкой установки на строго определенную длину волны, известную обороняющемуся; 2) применением способа приема лишь при действии сразу нескольких волн разной длины; 3) введением в устройство механизма, который замыкает цепь лишь после ряда сигналов, через определенные промежутки времени.

Дальнейший признак для классификации мин—это способы постановки мин: а) плавучая мина, к-рая при помощи стального троса стоит на месте, удерживаясь якорем, носит название п л а в у ч е й я к о р н о й м и н ы (фиг. 4); б) мина, лежащая на дне (грунте), называется д о н н о й миной, и в) д р е й ф у ю щ а я мина, не имеющая связи с грунтом,



Фиг. 3.



Фиг. 4.

постоянно находится в движении. Наиболее массовый тип—это плавучая якорная мина. Употребляется как на мелких глубинах, так и в открытом море. Может ставиться на глубинах до 1 — 1,5 *км*. Взрывные механизмы мин—или колпаки, поломка к-рых вызывает взрыв, или специальные приборы, действующие от сотрясения мины при ударе последней о корабль. Количество зарядов (взрывчатого вещества) в минах самое разнообразное—от 8 до 500 *кг*, в зависимости от того, для каких целей сконструирована мина. Донная мина имеет значение г. о. для мелководья и против подводных лодок. Мина требует большого заряда и применения неконтактных взрывателей. Дрейфующая мина применяется на реках и местах, где имеется течение в определенную сторону; может употребляться как против кораблей, так и для взрыва мостов, плотин и других преград.

Кроме перечисленных выше видов, мины также применяют как узко противолодочные средства: а) мины, буксируемые кораблем на стальном тросе по месту, где предполагается нахождение подводной лодки; б) мины, подвешиваемые к сетям, ставящимся на предполагаемых путях неприятельских подводных лодок. Буксируемые мины имеют легко обтекаемую форму для уменьшения сопротивления при буксировке. Мины, подвешиваемые к противолодочным сетям, обычно по своей конструкции сделаны т. о., что взрываются не только при соприкосновении с подводной лодкой, но и при попадании лодки в сеть. Последнее обстоятельство позволяет увеличить район действия сети при незначительном количестве самих мин.

Обычно мины ставятся со всех видов кораблей, как надводных, так и подводных лодок, имея для того соответствующее оборудование на корабле и приспособление у

самих мин. Классификация минных полей на основании войны 1914—18 гг. м. б. установлена в следующем виде: а) заграждения, или преграды (см. *Заграждения*), б) минированные зоны, в) банки, или отдельные минные поля. Минированные зоны представляют минированное водное пространство любой величины, точно отмеченное. Назначение зоны—создать неудобства и стеснение противнику при его выходах и операциях. Банки, или отдельные минные поля—заграждение, которое имеет специальное, но временное значение и устанавливается в водах противника—на предполагаемых путях его кораблей. Постановка банок, в отличие от минированной зоны, не может иметь длительного значения, и поддержание поставленной банки невозможно или бесцельно.

Мины самодвижущиеся, выпускаемые минными аппаратами с подводных лодок и надводных судов, см. *Торпеды*.

Лит.: «Морской сборник», Л., 1930; Петров М., Морская техника, ч. 1—2, Л., 1924—26; Laubeuf M. et Stroh H., Sous-marins, torpilles et mines. P., 1923. **А. Ворохобин.**

МИРБАНОВОЕ МАСЛО, см. *Нитробензол*.

МИРОБАЛАНЫ, общее название плодов, произрастающих в Индии деревьев Terminalia chebula, T. citrina и T. belerica (семейства Combretaceae) и Phyllanthus emblica (сем. Euphorbiaceae), из которых добываются дубильные вещества. Миробаланы от Terminalia chebula — продолговато-грушевидной формы, от желтого до бурого цвета, длиною 3—5 *см*. Поступают в продажу в подсушенном, размолотом и просеянном виде без косточек. Миробаланы употребляются при дублении вместе с дубовой и сосновой корой, они дают черную краску; из М. приготовляют твердые и жидкие *дубильные экстракты* (см.). Константы М. как дубителя даны в *Спр. ТЭ*, т. III, ст. Растительные дубильные материалы (стр. 117).

Лит.: Гнамм Г., Дубильные вещества и дубильные материалы, пер. с нем., Л., 1927. **Н. Кобранов.**

МИРРА, камедесмола. Производящее мирру растение не вполне выяснено; предположительно указывают различные виды Commiphora, по преимуществу Commiphora abyssinica, встречающиеся в Северной Африке. Из двух существующих сортов—герабол-М. и бисабол-М.—только первый сорт имеет торговое значение. Добыча мирры в главном районе заготовок (Сомали) производится путем сбора вытекающего из трещин в коре и затвердевающего на воздухе млечного сока. Сравнительно реже производят надрезы на коре для усиления истечения. Дальнейшая обработка М. состоит в сортировке (в Адене или Бомбее—главных портах вывоза). М. представляет неправильной формы комки величиной от ореха до кулака, окрашенные в красновато-желтый или коричневый цвет; имеет раковистый, мелкозернистый, с жирным блеском излом, на котором часто заметны белые пятна. М. обладает специфичным и довольно сильным запахом и пряным горьким вкусом. С водой мирра дает молочную эмульсию, спирт же извлекает из нее только смолы; бо́льшая часть смол м. б. извлечена также эфиром, хлороформом и толуолом, тогда как петролейный эфир растворяет только около четверти всего количества смол. Нормально мирра содержит: камедей и энзимов около 61%, смол 30%, влаги 5%, загрязнений 3—4%, золы ⊳ 7%, эфирного масла до 8,8%. Кислотное число М. ⊳ 25, число омыления около 229. С 80%-ной серной к-той и ванилином М. дает красное окрашивание, не исчезающее при разбавлении. При свете кварцевой лампы М. показывает желто-зеленую флуоресценцию, чем можно пользоваться для открытия фальсификаций. В состав мирры входят: α-герабомиррол, $C_{20}H_{22}O_7$ (около 3%), β-герабомиррол, $C_{20}H_{36}O_{10}$ (ок. 2%), α-герабомирролол, $C_{17}H_{24}O_5$ (около 4%), β-герабомирролол, $C_{19}H_{28}O_5$ (около 2%) и миррорезен, $C_{28}H_{40}O_4$ (около 6%). Применение М.—в медицинской практике и при изготовлении косметических препаратов—сравнительно невелико.

Лит.: Вольф Г., Бальзамы, смолы, искусственные смолы, олифы и лаки, пер. с нем., Петроград, 1923; Bottler M., Harze u. Harzindustrie, 2 Aufl., Leipzig, 1924; Wolf H., Die natürlichen Harze, Stuttgart, 1928. **Б. Рутовский.**

МИРТ, Myrtus communis, вечнозеленый кустарник, с кожистыми листьями, обладающими ароматическим запахом. Из листвы М. добывается особое миртовое масло, выход которого очень мал (0,3%). М. произрастает дико в Средиземноморской области Европы, выдерживая мягкий климат Ю. Англии. Из ягод М. приготовляли в древности масло и особое вино, которые применялись в медицине. До 190 видов миртовых произрастают в восточной внетропич. части Ю. Америки; среди них встречаются и деревья. Серовато-красная древесина довольно тяжела (объемный вес 1,0) и прочна.

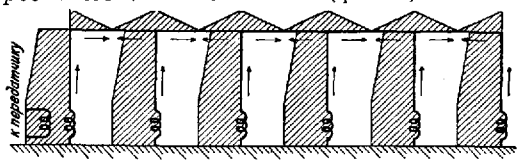
Лит.: Керн Э. Э., Деревья и кустарники, их лесоводственные особенности, использование и технич. применения, М.—Л., 1925; Leunis J., Synopsis d. drei Naturreiche, T. 2—Botanik, Hannover, 1883—1886.

МИТКАЛЬ, хл.-бум. ткань гродонаплевого переплетения, принадлежащая к классу гладких тканей. По количеству производимого на ткацких ф-ках товара М. занимает первое место. М. суровые предназначаются обычно или в отбелку, или в окраску, или для набивки, или же наконец употребляются неокрашенными вместо полотна. В зависимости от отделки М. в готовом виде известны под названиями: ситца, головных набивных платков, мадаполама, нансука, коленкора и т. п. Миткали различаются: по весу—легкие, средние и тяжелые; по плотности—плотные, средние и редкие; по обороте—миткали первого и второго сорта и по тонине—обыкновенные и тонкие. До революции миткалевая ткань вырабатывалась в громадном количестве различных сортов: по ширине, плотности, №№ пряжи, весу и т. п., иногда очень мало отличаясь друг от друга. Стандартизация, проведенная в текстильной промышленности за последние 5 лет, значительно сократила ассортимент и установила определенные виды как сурового, так и отделанного М. В настоящее время, согласно ОСТ, М. вырабатывают шириною от 62 до 106 *см*. №№ пряжи применяются для основы 32—80, а для утка 38—100. Плотность ткани: по основе 52—100 нитей на 1 дм., а по утку 48—100 прокидок на 1 дм. М. работается в 4 ремизки по две за одну. Основа пробирается по одной нити в галю и по две нити в зуб берда. **С. Молчанов.**

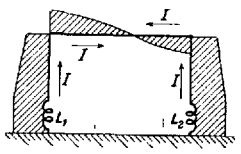
МИХЛЕРА КЕТОН, см. *Промежуточные продукты синтеза красителей.*

МНИМЫЕ ЧИСЛА, см. *Комплексные числа.*

МНОГОКРАТНАЯ АНТЕННА, или *антенна* (см.) Александерсона (Alexanderson), применяется при радиопередаче на длинных волнах с целью увеличения кпд антенного устройства. М. а. представляет собой Г-образную антенну с большой горизонтальной частью, у к-рой вместо одного снижения устроено несколько снижений (фиг. 1). Снижения настраиваются включенными катушками самоиндукции т. о., чтобы они с определенным участком горизонтальной части антенны составляли резонансный контур, и М. а. разделяется на число антенн по числу снижений. Наиболее простым видом М. а. является т. наз. П-образная антенна, состоящая из горизонтальной части с двумя настроенными снижениями по концам (фиг. 2). На фиг. показано распределение тока в такой антенне, если самоиндукция удлинительной катушки L_1 меньше самоиндукции катушки L_2 (при равенстве самоиндукций L_1 и L_2 нулевая точка находится посредине). Как видно из чертежа, П-образная антенна состоит из двух Г-образных антенн, работающих в фазе. Кпд такой антенны выше, чем Г-образной, поэтому такие антенны применяются на радиовещательных станциях в США, где невысокие мачты не дают возможности получить большой кпд другими обычными способами. Антенна Александерсона точно таким же образом может быть разбита на ряд Т- и Г-образных антенн (фиг. 1). Больший кпд, с точки зрения Александерсона, получается вследствие того, что излучение оказывается таким же при меньшем сопротивлении вредных потерь, так как эти сопротивления оказываются включенными параллельно. Действительно, если сравнить Г-образную антенну с одним снижением, причем сила тока в снижении равна I с М. а., в к-рой n снижений и сила тока в каждом снижении составляет $\frac{I}{n}$, то излученная мощность W_s будет одинакова, если снижения достаточно далеки друг от друга, чтобы не оказывать друг на друга действия. Мощность же, теряемая во вредных сопротивлениях, равна в первом случае



Фиг. 1.



Фиг. 2.

$$W_{\Omega_1} = I^2 R \quad ,$$

а во втором случае

$$W_{\Omega_2} = \left(\frac{I}{n}\right)^2 R_\Omega n = \frac{I^2 R_\Omega}{n} = \frac{W_{\Omega_1}}{n},$$

т. е. уменьшается в n раз, если сопротивление потерь для каждой антенны в том и в другом случае одинаково. Т. о. излучаемая мощность остается без изменения, мощность потерь уменьшается, и следовательно кпд, равный

$$\eta_A = \frac{W_s}{W_s + W_\Omega},$$

увеличивается довольно значительно.

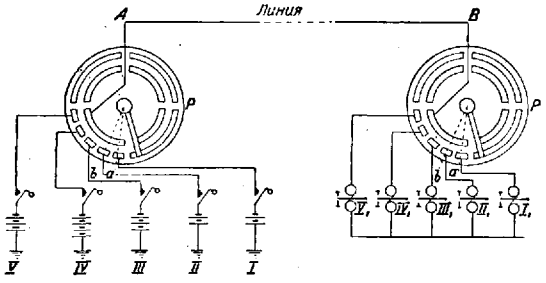
Можно М. а. рассматривать и с другой точки зрения. Сравнивая всю антенну с Г-образной антенной, мы можем считать, что сопротивление излучения увеличилось в n^2 раз, в то время как сопротивление потерь—в n раз. В силу этого кпд увеличился. Опыт подтверждает увеличение кпд при применении М. а. Используются М. а. для больших радиотелеграфных станций, работающих частотой ниже 30 кц/ск. (волна более 10 000 *м*), т. к. при мачтах *даже в 250 м высотой* сопротивление излучения при таких волнах выражалось десятыми и даже сотыми долями ома. В связи с применением коротких волн для дальней связи М. а. значение свое потеряли и применяются редко.

Лит.: Alexanderson E., «Proc. of the Inst. of Radio Eng.», N. Y., 1920, Aug., p. 263; Banneitz E., Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie u. Telephonie, p. 405—408, B., 1927. **И. Кляцкин.**

МНОГОКРАТНОЕ ТЕЛЕГРАФИРОВАНИЕ И ТЕЛЕФОНИРОВАНИЕ, метод телеграфирования и телефонирования по проводам, дающий возможность уплотнять *линии связи* (см.) путем одновременной передачи по одной и той же линии нескольких телеграмм и телефонных переговоров. Экспериментально и теоретически доказано, что напр. при двухпроводной 4-*мм* бронзовой линии возможно осуществить: а) телеграфные передачи частотами от 0 до 300 пер/ск., б) 1 телефонный разговор частотами от 300 до 2 500 пер/ск., в) до 12 телеграфных передач аппаратами любой системы и частотами в пределах от 3 000 до 10 000 пер/ск. и наконец г) 3 телефонных разговора в диапазоне частот от 10 000 до 45 000 пер/ск. Количество одновременных телеграфных и телефонных передач не ограничено указанными цифрами; техника в этом отношении еще не сказала последнего слова.

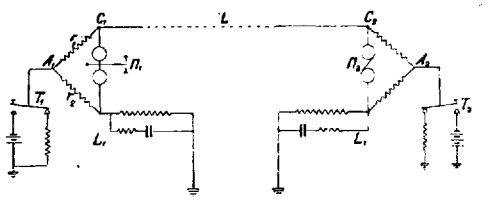
Многократное телеграфирование в зависимости от способов передачи и приема телеграфных сигналов разделяется на два вида: 1) телеграфирование особыми системами телеграфных аппаратов и приборов и способами их включений, 2) телеграфирование переменными токами. Представителем первого вида многократных установок, получивших у нас наибольшее распространение, является буквопечатающий аппарат Бодо (см. *Буквопечатающие телеграфные аппараты*). Принцип действия аппарата Бодо представлен схемой на фиг. 1. Его работа характеризуется как последовательное соединение при помощи особых синхронно вращающихся распределителей P, отдельных передатчиков и приемников. Когда щетки распределителя находятся в положении a, передатчик I соединяется с приемником I_1. Дальнейшее вращение щеток в положение b соединяет передатчик II с приемником II_1. Т. о. за один оборот щеток можно принять или передать несколько сигналов. Существуют и другие системы аппаратов

многократного телеграфирования, которые построены на тех же принципах, что и аппарат Бодо. Методом последовательного соединения передатчиков осуществляется 2-, 4-, 6- и 8-кратная телеграфная связь. Двухкратную телеграфную связь можно осуще-



Фиг. 1.

ствить при помощи особого способа телеграфирования, называемого дуплекс. Этот способ телеграфирования основан на том, что передатчик, посылая ток в приемник соседней станции, не влияет на собственный приемник, к-рый м. б. включен в линию двояким образом: либо он включен в диагональ *мостика Витстона* (см.) либо он снабжается двумя обмотками (дифференциальное реле). Схема соединения дуплексного телеграфирования по способу моста представлена на фиг. 2. Здесь сопротивления r_1 и r_2 представляют два плеча моста, третьим плечом является линия L, а четвертым — искусственная (балансная) линия L_1. В одну из диагоналей моста включен приемник,

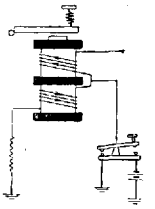


Фиг. 2.

а в другую передатчик. При посылке последним (T_1) ток в точке A_1 сначала разветвляется на две равные части. Одна половина тока идет в провод, другая через искусственную линию в землю. Ток, пройдя линию, в точке C_2 разветвляется, часть его проходит приемное реле $П_2$ и приводит его в действие. То же произойдет при посылке сигналов передатчиком T_2; когда же одновременно работают два передатчика T_1 и T_2, то провод C_1C_2 остается без тока, каждое реле получает теперь ток от собственной батареи, но только до тех пор, пока посылают ток оба передатчика.

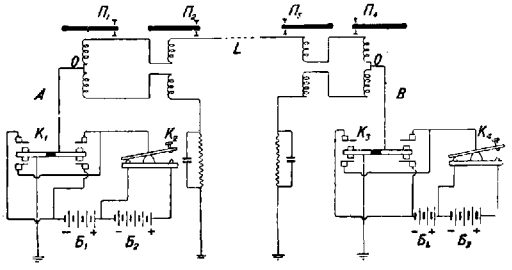
При диференциальном способе телеграфирования применяются в приемнике вспомогательные обмотки, ток в к-рых компенсирует действие линейной обмотки. На фиг. 3 показана схема дуплексного телеграфирования при помощи диференциального *реле* (см.). Передатчик не действует на собственное реле, т. к. ток проходит обе обмотки в таких направлениях, что магнитные поля их взаимно уничтожаются, и якорь реле не притягивается. Приходящий ток с линии заставит подействовать реле, т. к. в этом случае магнитные поля складываются. При помощи дуплексных схем можно телеграфировать как однократными системами телеграфных аппаратов (напр. аппаратом Морзе), так и многократными, примером чего может служить схема четырехкратного Бодо-дуплекс.

К многократному телеграфированию относится также система квадруплекс. Эта система допускает работу четырех телеграфных аппаратов одновременно. На фиг. 4 показана схема телеграфирования квадруплекс. На каждой станции A и B установлены по два ключа K_1, K_2 и K_3, K_4 и по два приемника $П_1$ и $П_2$, $П_3$ и $П_4$. Приемники $П_1$ и $П_4$, не поляризованные с диференциальными обмотками, работают токами большой силы, приемники $П_2$ и $П_3$, поляризованные с диференциальными обмотками, работают слабыми токами и только одного направления (напр. плюсом). Передача и прием происходят следующим образом. Передает ключ K_1: в этом случае положительный ток от батареи $Б_1$ пойдет через ключи K_2 и K_1 к точке O, где он разветвится на две равных части, и приемники $П_1$ и $П_2$ останутся в покое; та часть тока, которая пройдет линию L, пройдет одну обмотку приемников $П_3$ и $П_4$; этого тока будет недостаточно для приведения в действие приемника $П_4$, но приемник $П_3$ работать будет. Передает ключ K_2: по предыдущему приемники $П_1$ и $П_2$ не будут работать; та же часть тока, к-рая пройдет линию, приведет в действие приемник $П_4$, т. к. в этот момент работала батарея $Б_1+Б_2$, но приемник $П_3$ останется в покое, потому, что ток отрицательный. При одновременном нажатии ключей K_1 и K_2 в линию пойдет ток от батареи $Б_1+Б_2$ и приведет в действие приемник $П_3$, так как ток положительный, и приемник $П_4$, так как он большой силы. При работе всех ключей одновременно будут работать все четыре приемника.



Фиг. 3.

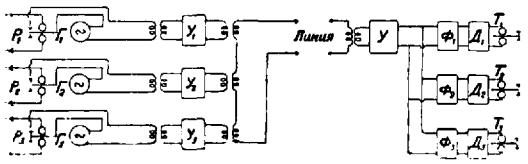
В случае многократного телеграфирования переменными токами применяются частоты: 1) звуковые (тональные) от 400 до 10 000 пер/ск. и 2) высокие,



Фиг. 4.

т. е. выше 10 000 пер/ск. Нижний предел применяемых частот определяется требуемой скоростью телеграфирования, т. к. для устойчивости телеграфного действия импульс переменного тока должен иметь не менее

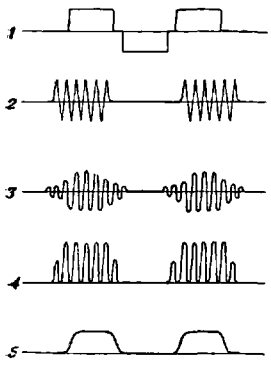
четырех перемен направления тока. Верхний предел определяется физич. свойствами линии и тем расстоянием, на к-рое требуется телеграфировать. Кабельные линии, километрическое затухание β (см. *Бета*) и угло-



Фиг. 5.

вой измеритель a к-рых значительны, допускают телеграфирование частотами не свыше 3 000 пер/ск. На бронзовых воздушных линиях возможно осуществить телеграфирование в пределах от 400 до 40 000 пер/ск.

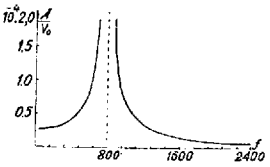
Установки, при помощи которых производится многократное телеграфирование, имеют следующие элементы: 1) генераторы переменного тока, 2) *усилители* (см.) входящих и исходящих токов, 3) электрич. *фильтры* (см.), 4) детектирующие устройства, 5) вспомогательные устройства. На фиг. 5 показана принципиальная схема установки многократного телеграфирования. Передающая часть ее имеет несколько генераторов $Г_1$, $Г_2$, ... с различными частотами f_1, f_2, ..., ток от которых соответствующим образом м. б. послан в линию. Приемная часть установки заключает в себе фильтры $Ф_1$, $Ф_2$, ..., рассчитанные на пропускание частот f_1, f_2, ..., усилительные и детектирующие устройства. Действует такая установка следующим образом. Телеграфный аппарат посылает сигналы в реле $Р_1$, к-рое своим язычком и контактом, в момент прохождения сигнала через его обмотки, замыкает цепь генератора $Г_1$. Последний посылает в усилитель $У_1$ импульс переменного тока, по продолжительности соответствующий посланному сигналу от телеграфного аппарата. Усиленный ток затем идет в линию. В то же время другой телеграфный аппарат может послать сигнал в реле $Р_2$, которое точно так же замыкает цепь генератора $Г_2$, от к-рого импульс переменного тока, но уже другой частоты, через усилитель $У_2$ идет в ту же линию. Действие других телеграфных аппаратов и генераторов происходит подобным же образом. Т. к. переменный ток проходит линию с нек-рым затуханием, то приходящий в приемное устройство переменный ток предварительно усиливают. Импульсы всех частот фильтрами $Ф_1$, $Ф_2$, ... разделяются т. о., что импульс с частотой f_1 проходит только через соответствующий ему фильтр $Ф_1$, импульс с частотой тока f_2 проходит фильтр $Ф_2$ и т. д. Затем импульс детектируется детекторной



Фиг. 6.

лампой $Д_1$, в анодной цепи к-рой возникнет импульс уже постоянного тока, способного привести в действие телеграфное реле $Т_1$. Это реле передаст сигнал телеграфному аппарату. То же произойдет с остальными сигналами, передаваемыми токами других частот. Процессы преобразования сигналов показаны на фиг. 6 (где *1*—ток в обмотке передающего реле, *2*—ток в линии, *3*—ток после фильтра, *4*—ток в анодной цепи детекторной лампы, *5*—ток в обмотке приемного реле).

В телеграфии значительную роль играет скорость передачи сигнала. При телеграфировании переменными токами скорость передачи сигнала ограничена: 1) электрич. и механич. инерцией приборов, 2) затуханием и искажением цепей, 3) внешними помехами. Электрич. фильтры в многократной телеграфии сглаживают телеграфные знаки. Процесс сглаживания заключается в следующем. Если у начала фильтра внезапно приложить переменное напряжение, то переменный ток у конца нарастает постепенно. При выключении переменного напряжения у начала ток у конца затухает также постепенно. Если импульс постоянного тока разложить в ряд Фурье, то увидим, что этот импульс образован спектром частот от 0 до ∞. Любой телеграфный сигнал м. б. разложен на составные колебания. Как пример разложения знака Морзе «а» см. *Быстродействующие радиопередача и радиоприем*, где фиг. 17 показывает, что этот сигнал имеет составные колебания с различными частотами, причем амплитуды их имеют наибольшее значение в приближении к частоте 0. Точно так же импульс переменного тока содержит спектр частот, амплитуды к-рых возрастают в приближении к несущей частоте. Амплитуда составного колебания A и его частота f находятся с амплитудой v_0 несущей частоты f_0 в следующей зависимости:



Фиг. 7.

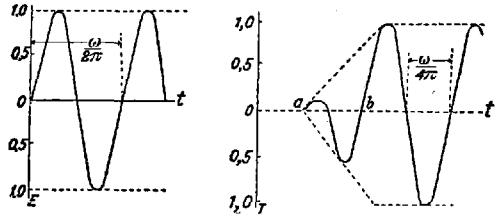
$$A = \frac{v_0 f_0}{4\pi^2 (f^2 - f_0^2)}.$$

На фиг. 7 показан спектр амплитуд точки переменного тока при $f = 800$ пер/ск. Т. к. действием фильтра боковые составные колебания уничтожаются, а через фильтр проходят только колебания, наиболее близко стоящие к основной частоте, то сигнал будет искажен. На фиг. 8 показано нарастание тока в конце фильтра или, как иначе называют, р а с к а ч и в а н и е а м п л и т у д ы т о к а. В период нарастания тока частота и амплитуда принимаемого сигнала увеличиваются от небольшой величины в точке a до тех пор, пока в точке b не достигнет установившегося состояния. Для телеграфирования считают началом раскачивания тот момент, когда амплитуда возросла на 10% ее конечного значения, а колебания установившимися, когда амплитуда достигла 90% ее конечного значения. Продолжительность всего процесса раскачивания определяется: 1) шириной отверстия фильтра и 2) частотой точки. Избирательность

фильтра увеличивается как с повышением числа звеньев, так и с уменьшением ширины отверстия фильтра. Последнее условие ведет к увеличению раскачивания, так как продолжительность τ этого явления выражается следующим соотношением:

$$\tau = \frac{k}{2\pi(f_2 - f_1)},$$

где $f_2 - f_1$—полоса пропускания фильтра, k—постоянная, равная 5÷5,5. Влияние,

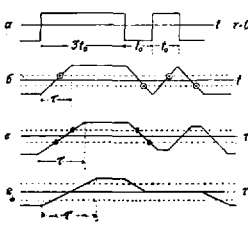


Фиг. 8.

которое оказывает фильтр на телеграфный знак, наглядно видно из фиг. 9. Если время раскачивания $\tau = 0$ (фиг. 9,а), форма знака не изменяется. Если установить границу действия приемного реле, как на фиг. показано пунктиром, то знак будет воспроизведен без искажения. При увеличении τ войдет уже искажение, и меньшая часть посылки будет производить полезную работу. При $\tau = 2t_0$ прием невозможен, как показано на фиг. 9,г. Практикой установлено, что τ не д. б. больше продолжительности «точки» t_0, т. е. $t_0 = \tau$. Для длительности точки t_0 частота $f_t = \frac{1}{2t_0}$. Тогда ширина отверстия определится из выражения:

$$\frac{f_t}{f_2 - f_1} = \frac{\pi}{k}, \text{ или } f_2 - f_1 = \frac{k'}{\pi} f_t.$$

Ширина отверстия фильтра определяется частотами, для к-рых затухание на 0,5 непера (фиг. 10) выше минимального затухания. Практически ширина отверстия бывает 65—75 периодов. Фильтры д. б. построены т. о., чтобы они позволяли в предоставляемом для телеграфной передачи диапазоне частот установить максимум телеграфных связей; кроме того они должны: 1) обеспечивать отчетливость передачи сигнала, 2) не влиять друг на друга, 3) допускать скорость работы, нормальную для общепринятых телеграфных аппаратов.

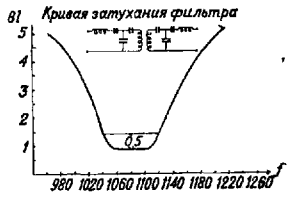


Фиг. 9.

В качестве источников переменного тока обычно применяются маломощные ламповые генераторы с самовозбуждением. Существуют также системы, у которых в качестве источника тока применяются машинные генераторы. Выбор несущих частот f_n генераторов производится таким образом, чтобы они были нечетно кратны единственному числу f_0, т. е.

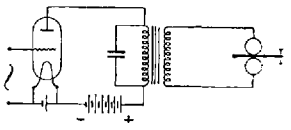
$$f_n = (2n + 1)f_0.$$

Этим путем устраняется влияние передач друг на друга. По тем же соображениям генераторы д. б. достаточно свободны от высших гармоник. колебаний и иметь вполне устойчивую частоту. Для сохранения последнего условия применяют на тональных установках камертонные генераторы (см. *Телефонная передача*). Телеграфное реле включают таким образом, чтобы работа его не отражалась на частоте генератора, что может иметь место в случае значительных колебаний сопротивления внешней цепи генератора при замыкании и размыкании цепи. Поэтому в цепь генератора включают добавочное *затухание* (см.), а само реле включают последовательно либо параллельно генератору. Передача энергии от генераторов в линию не должна сопровождаться взаимным влиянием их друг на друга, что достигается включением генераторов через усилитель (фиг. 5) или фильтр (фиг. 10) или же последовательным соединением генераторов. Расчет генераторов производится обычными методами (см. *Ламповые генераторы*). Усилители как у передатчиков, так и у приемников обыкновенно конструируют по схеме с трансформаторами; усилители бывают: одноламповые, реже двухламповые с каскадным или пушпульным (симметричным) соединением.



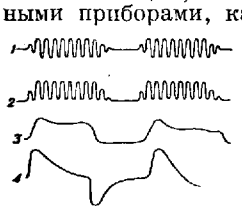
Фиг. 10.

После фильтра приемный ток обычно поступает на лампу, имеющую на сетке значительное отрицательное напряжение, вследствие чего в анодной цепи лампы получается выпрямленный уже импульс телеграфного сигнала; находящееся в анодной цепи реле под действием уже импульса постоянного тока сработает и в свою очередь перешлет полученный сигнал на телеграфный аппарат. Т. к. в анодной цепи ток имеет только одно направление, то возвращение якоря реле к спокойному контакту производится либо силой притяжения пружины либо путем воздействия добавочной обмотки в реле с батареей. Существуют схемы, в которых реле возвращается к спокойному контакту путем использования нестационарных процессов, возникающих в цепях с емкостью и самоиндукцией. В схеме (фиг. 11) с трансформатором в анодной цепи выпрямительной лампы работа реле происходит следующим образом. Когда в анодной цепи под действием приходящих сигналов мгновенно нарастает ток, во вторичной обмотке трансформатора появляется импульс тока одного направления; в момент убывания тока в анодной цепи во вторичной обмотке будет импульс тока другого направления (фиг. 12, где *1* — ток на входе в детектор лампы, *2*—ток в анодной цепи, *3*—ток в первичной обмотке трансформатора, *4*—ток во вторичной обмотке трансформатора). Расчет этого трансформатора должен быть произведен таким обр. чтобы



Фиг. 11.

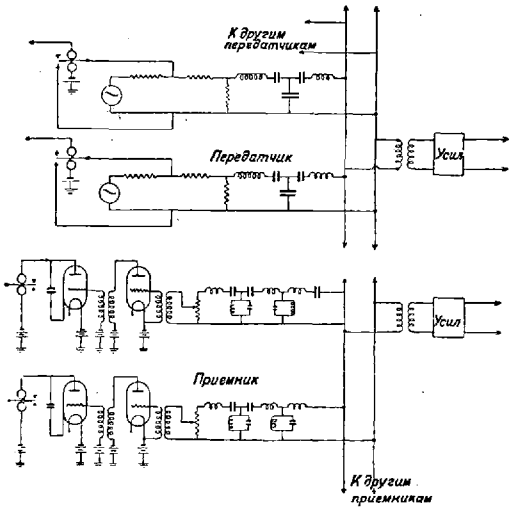
его максимальная отдача была при частоте точки f_t. Выпрямление м. б. произведено напр. контактным детектором. Реле, которое работает от неустановившихся токов, обязательно д. б. свободно от перемагничиваний и достаточно чувствительно. Т. к. установки д. б. достаточно удобны и устойчивы в эксплоатации, их снабжают вспомогательными приборами, как то: вольтметрами и амперметрами для измерений питающих источников тока, устройствами для служебных переговоров, сигнальными приспособлениями и т. д. Вся установка монтируется вместе с главными элементами схемы на общем каркасе. Передача и прием телеграмм производятся при помощи обыкновенных телеграфных аппаратов (Бодо, Сименса и других). Существуют схемы многократного телеграфирования переменными токами, допускающие работу одновременно 4, 6, 10, 12 телеграфных аппаратов. На фиг. 13 установка системы Western Electric с машинным генератором.



Фиг. 12.

В. Дубовик.

Многократное телефонирование по проводам впервые было осуществлено американцем Сквайером (G. Squier) в 1910 г., но в виду сложности устройства распространения не получило, и только после изобретения электронной лампы подошли к практическому использованию нового вида связи (Америка и Германия в 1921 г., СССР в 1924 г.).



Фиг. 13.

Многократное телефонирование основано на применении переменного синусоидального тока высокой частоты (т. н. несущего тока) для передачи разговорного тока; с этой целью амплитуду тока высокой частоты изменяют в такт с разговорным током; процесс этот называется *модуляцией* (см.). Нетрудно убедиться в том, что модулированная волна тока содержит токи трех различных частот. Действительно, предположим, что колебания высокочастотного тока имеют вид $A \sin Ht$, а колебания разговорного тока—$a \sin Nt$; так как амплитуда A изменяется в такт разговорного тока, то амплитуда модулированного тока будет равна $A + a \sin Nt$, и модулированный высокочастотный ток определится выражением:

$$y = (A + a \sin Nt) \sin Ht.$$

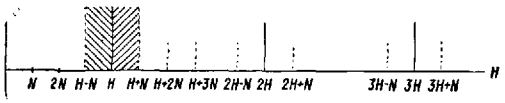
Так как

$$\cos(Ht - Nt) - \cos(Ht + Nt) = 2 \sin Ht \sin Nt,$$

то

$$y = A \sin Ht + \frac{a}{2} \cos(H - N)t - \frac{a}{2} \cos(H + N)t.$$

Следовательно модулированная волна содержит три частоты: H—несущую частоту и две боковые частоты: $(H-N)$ и $(H+N)$. Существует два способа многократного телефонирования, именно: 1) осуществляемого при посылке в линию несущей частоты (H), когда в линию направляются все три частоты, и 2) осуществляемого без посылки в линию несущей частоты (H), когда в линию



Фиг. 14.

направляются только две частоты $(H-N)$ и $(H+N)$. Как в том, так и в другом случае одна из *боковых частот* (см.) м. б. задержана в пункте отправления и в линию не направится.

Первый способ технически выполняется обычно следующим образом. Оба колебания $A \sin Ht$ и $a \sin Nt$ складывают, а затем подвергают действию модулятора, в качестве которого применяется электронная лампа, работающая в области наиболее сильной кривизны своей характеристики; благодаря этому в анодной цепи модулятора возникают высшие гармоники и комбинированные колебания, т. е. частоты:

$$H, N, 2H, 2N, (H-N), (H+N), 3H, 3N, (2H \pm N), (H \pm 2N) \text{ и т. д.}$$

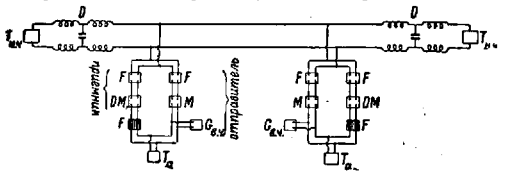
(фиг. 14). Частоты H, $(H+N)$ и $(H-N)$, необходимые для образования модулированного колебания, заштрихованы на фиг. 14. Колебания остальных частот могут вредить, ибо искажают модулированную волну, а потому не д. б. допущены на линию. Для этого между отправителем и линией требуется включить прибор (фильтрующий контур), который должен пропускать только частоты H, $(H+N)$ и $(H-N)$. К приемному пункту подходит модулированная волна с частотами H и $(H \pm N)$; здесь эта волна встречает электронную лампу, служащую демодулятором (выпрямителем), благодаря чему в ее анодной цепи возникают колебания H и $(H \pm N)$, их высшие гармоники и комбинированные колебания:

$$(H+N)+H = 2H+N;\ H+(H-N) = 2H-N;\ (H+N)-H = N;\ H-(H-N) = N,$$

т. е. колебания разговорных частот. Для того, чтобы в телефонный аппарат проникли только разговорные частоты N, между демодулятором и телефонным аппаратом необходимо установить фильтрующий контур.

Так. обр. происходит передача разговора в одном направлении; совершенно аналогич-

но происходит она и в обратном направлении; только надо применить для несущей волны другую частоту; следовательно для одного двухстороннего разговора требуются две различные несущие волны. Применяя другие высокие частоты, можно по одной и той же линии вести одновременно несколько разговоров; в этом случае в приемном пункте необходимо волны различных частот разделить фильтрующими контурами для направления их к соответствующему телефонному аппарату; что касается включения в линию телефонных аппаратов, по которым должна



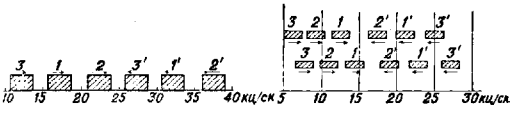
Фиг. 15.

происходить обыкновенная телефонная передача, то это вполне возможно; надо только преградить к ним доступ высокочастотных токов, что достигается также при помощи фильтрующих контуров. Оборудование телефонной линии, по к-рой происходит одновременно один разговор по высокой частоте и один «обыкновенный» разговор, схематически изображено на фиг. 15. Здесь $T_{н.ч.}$—телефонный аппарат низкой частоты, D—дроссельный фильтр, F—фильтры, M — модулятор, DM — демодулятор, $G_{в.ч.}$— генератор высокой частоты, T_a—телефонный аппарат. Т. к. для высокочастотной телефонии можно использовать довольно ограниченный спектр частот, то для осуществления нескольких пар разговоров необходимо спектр частот, требующийся для одного разговора, по возможности сузить. Последнее достигается тем, что одну боковую частоту $(H+N)$ или $(H-N)$ задерживают в отправительном пункте и в линию ее не пускают, иначе говоря, тогда модулированная волна будет следующего вида:

$$y = A \sin Ht + \frac{a}{2} \cos (H - N)t.$$

Для телефонной передачи достаточно двух частот H и $H-N$ (или $H+N$). Необходимо отметить, что, применяя эти две частоты вместо трех, мы используем для модуляции половину амплитуды разговорного тока.

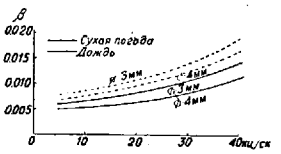
Переходим к выяснению численных значений для N и H. Опытом выяснено, что те-



Фиг. 16.

Фиг. 17.

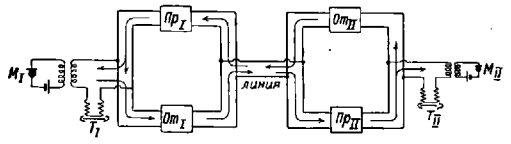
лефонная передача может считаться вполне удовлетворительной, если в ней участвуют частоты до 2 400 пер/ск., поэтому $N = 2\,400$; для выяснения величины H необходимо коснуться вопроса о спектре высоких частот, к-рым мы можем располагать. Что касается наименьшего значения H, то оно определяется тем, что H д. б. больше наивысшей частоты разговорного тока. Последние исследования показали, что наивысшие частоты имеет буква C, для к-рой f достигает 10 000—12 000 пер/ск.; поэтому напр. фирма Телефункен за начальную частоту спектра несущей волны принимает 10 000 пер/ск. Американцы в этом отношении более радикальны и начинают с 5 000 пер/ск., т. е. идут заведомо на определенное искажение. Но т. к. это искажение не превышает искажения, имеющего место при обыкновенном телефонировании, то с ним можно вполне примириться. Частота же верхнего предела для величины H определяется, во-первых, тем расстоянием, на к-рое требуется установить телефонную передачу при помощи несущей частоты, во-вторых—числом



Фиг. 18.

одновременных переговоров и в-третьих—экономич. соображениями. На фиг. 16 и 17 указано распределение частот, применяемое фирмой Телефункен и фирмой Белля.

Что касается дальности телефонирования на высоких частотах, то она определяется верхним пределом спектра частот несущей волны, мощностью отправительного аппарата и усилительной способностью приемного. Напр. аппараты немецких фирм и Всесоюзного электротехнического объединения



Фиг. 19.

(ВЭО) покрывают расстояние, соответствующее $\beta l = 5 \div 5{,}5$. Если желательно этими аппаратами покрыть расстояние в 500 км, то километрическое затухание наивысшей из применяемых частот не должно превышать:

$$\beta = \frac{\beta l}{l_{км}} = \frac{5}{500} = 0{,}01,$$

что соответствует частоте 24 000 пер/ск. в дождливую погоду для 4-мм бронзовой линии (фиг. 18). Зная начальную частоту H_1= =5 000 пер/ск. и конечную H_2=24 000, определяем число парных разговоров:

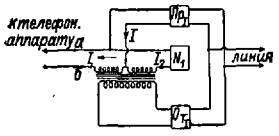
$$P = \frac{1}{2} \frac{24\,000 - 5\,000}{2\,400} = 4.$$

Но между каждыми двумя спектрами высокой частоты, предназначенными для передачи разговора, необходимо оставить некоторый промежуток частот, так как фильтры пропускают не только те частоты, для пропуска к-рых они построены, но и ближайшие к ним. Практически эти промежутки делают не менее 600 пер/ск. Поэтому на каждый разговор (в одну сторону) требуется спектр частот, равный 2 400 + 600 = 3 000 пер/ск. Следовательно число парных разговоров для разобранного выше примера

$$P = \frac{1}{2} \frac{19\,000}{3\,000} = 3.$$

Если бы схема соединения приемников, отправителей и телефонных аппаратов имела вид согласно фиг. 19, где Om—отправитель,

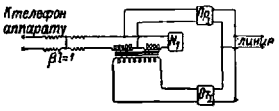
Пр—приемник, *М*—микрофон, *Т*—телефон, то всякая телефонная передача была бы исключена появлением з у м м и р о в а н и я (свиста) вследствие появления токов обратной связи (отправитель *I*, линия, приемник *II*; отправитель *II*, линия, приемник *I*; отправитель *I*, линия и т. д.). Поэтому необходимо ввести диференциальный трансформатор, к-рый бы препятствовал исходящему току из приемника *I* (или *II*) действовать на отправитель *I* (или *II*). Тогда схема принимает вид согласно фиг. 20. Теперь ток *I* из приемника разветвляется в обмотках диференциального трансформатора частью (I_1) в телефонный аппарат, а частью (I_2) в балансную линию N_1. Если $I_1=I_2$, то входящий ток *I* не будет действовать на отправитель *I*. Но равенство $I_1=I_2$ достигается только в том случае, если кажущееся сопротивление телефонного аппарата равно кажущемуся сопротивлению балансной линии N_1. Так как телефонные аппараты могут иметь различные сопротивления и кроме того они устанавливаются в различных расстояниях от телефонной станции, то кажущееся сопротивление, измеренное от точек *а* и *б* в сторону телефонного аппарата, является переменной величиной, а потому такая схема (фиг. 20) не будет эксплоатационной, т. к. невозможно практически для каждого абонента настраивать балансную линию N_1. Поэтому между диференциальным трансформатором и телефонным аппаратом включают искусственную линию



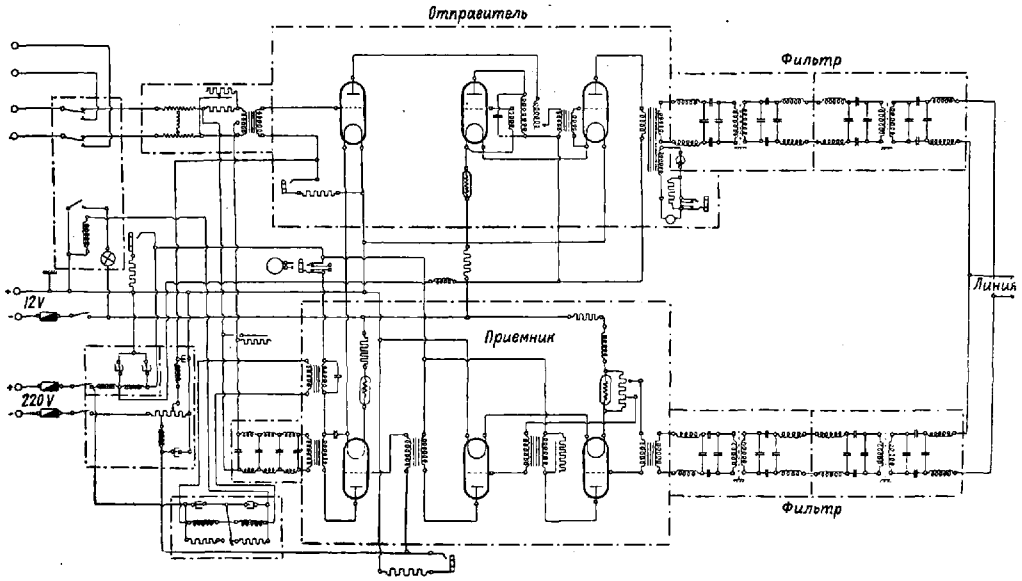
Фиг. 20.

(удлинитель) с таким затуханием, чтобы изменение кажущегося сопротивления на ее конце весьма мало сказывалось на ее кажущемся сопротивлении, измеренном из точек *а* и *б* в сторону телефонного аппарата. Практически достаточно затухание этой искусственной линии сделать равным $\beta l = 1$, тогда схема принимает вид, изображенный на фиг. 21. Принципиальная схема всей установки изображена на фиг. 22.

М н о г о к р а т н о е т е л е ф о н и р о в а н и е б е з п о с ы л к и в л и н и ю т о к а н е с у щ е й ч а с т о т ы. При многократном телефонировании при помощи несущего тока весьма важно, чтобы в линии было как можно меньше посторонней энергии. С этой целью предпочтительно применять такие схемы отправителей, при к-рых энергия от каждого из них поступает в линию только при воздействии на них микрофоном (т. е. только во время произношения слов); в остальное же время, хотя генератор и работает (при выслушивании говорящего на противоположном конце линии), но энергия от него в линию не подается. Наиболее распространенная система—это с и с т е м а б а л а н с н о й м о д у л я ц и и, при к-рой в линию поступают только две боковые частоты, если же одна из них будет устранена соответствующим фильтром, то передача совершается на одной боковой частоте, без несущей; для того же, чтобы в приемном устройстве получить модулированную волну обычного вида, нужно в приемнике на боковую частоту наложить несущую частоту от местного генератора. В отношении распределения частот для разговоров в этой системе также применяются различные частоты для передачи разговора в противоположных направлениях. Объясняется это,



Фиг. 21.

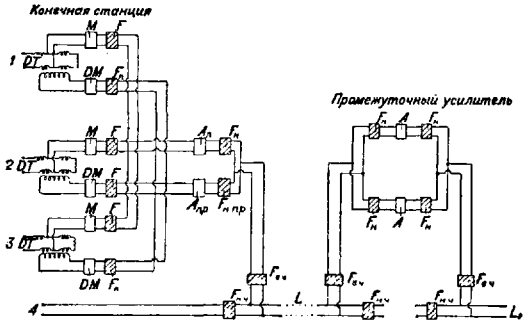


Фиг. 22.

во-первых, тем, что вопрос о промежуточном усилении упрощается, т. к. частоты противоположных направлений разделены друг от друга и объединены в группы; затем облегчается устранение взаимного мешающего влияния различных установок на одной и

той же воздушной магистрали и получается возможность установить на одной и той же магистрали большое число связей.

На фиг. 23 представлена упрощенная схема всей установки. Она заключает в себе аппараты одного конечного пункта, первый участок линии и промежуточный усилитель. Понятно, что общее расстояние между конечными пунктами м. б. увеличено при соответственном увеличении числа промежуточных усилителей. В каждом конечном пункте имеются конечные клеммы трех цепей, работающих несущими токами (*1*, *2* и *3*) и обыкновенной разговорной линии (*4*). Все эти линии оканчиваются на междугородном коммутаторе. Когда абонент соединен с одной из этих линий, например *1*, разговорные токи, проходя через диференциальный трансформатор с тремя обмотками *DT* и поступая в модулятор *M*, модулируют несущий ток высокой частоты. Получающиеся модулированные полосы частот проходят через фильтр *F*, пропускающий в усилитель $A_п$ передатчика только токи одной какой-либо определенной полосы частот; отсюда токи



Фиг. 23.

этой полосы проходят через т. н. направляющий фильтр $F_{н.}$, фильтр высокой частоты $F_{в.ч.}$ и поступают на линию L_1. Фильтр высокой частоты, в соединении с дополнительным фильтром низкой частоты $F_{н.ч.}$, образует т. называемый линейный фильтр, к-рый отделяет обыкновенный разговорный ток от токов высокой частоты как на обеих конечных станциях, так и на промежуточных усилителях. Две другие линии несущей частоты работают таким же образом; различные модулированные полосы соединяются вместе, проходя на линию через общий усилитель и направляющий фильтры. На усилительной станции группа частот, заключающая в себе три разговора, проходит через линейный и направляющий фильтры к усилителю и затем от него через направляющий и линейный фильтры поступает на следующий участок линии L_2. На другом конечном пункте объединенные несущие токи проходят через направляющий фильтр $F_{н.пр.}$ и снова усиливаются в приемном усилителе $A_{пр.}$. При выходе из этого усилителя различные полосы несущих частот разделяются полосными фильтрами, проходят в демодулятор *DM*, где они принимают свою первоначальную форму, и затем через диференциальный трансформатор *DT* поступают на соответствующие клеммы междугородного коммутатора.

Так как затухание в воздушных линиях большой длины зависит от атмосферных условий, то этим вызывается необходимость регулирования усиления всей системы. Регулировку эту осуществляют при помощи т. н. контрольной связи, выбирая между полосами частот, предназначенными для разговоров, специальную несущую частоту. При каждой усилительной установке в приемнике имеется прибор, отмечающий уровень передачи (см. *Телефонная передача*). Стрелка этого прибора должна нормально стоять на нуле шкалы или вообще в нормальном для данной системы положении. Если изменение линейного затухания вызовет изменение уровня передачи, то прибор покажет соответствующее отклонение. Регулируя промежуточный усилитель или потенциометр конечного усилителя, можно добиться опять нормального уровня передачи. Кроме того конечный приемный пункт оборудуется еще сигнальной цепью, к-рая дает предупреждение дежурному технику в том случае, когда отклонение уровня передачи от нормального уровня превышает предельную, предварительно установленную величину. Для каждого направления передачи применяется отдельная контрольная частота. Так как эта связь не используется для передачи разговоров, то для нее берется очень узкая полоса, вследствие чего общий диапазон частот, отведенный для этих целей, незначителен.

Общие вопросы передачи. На фиг. 18 представлены типичные кривые затухания воздушных линий при высокой частоте в зависимости от диаметра проводов и состояния погоды. Затухание при сырой погоде возрастает приблизительно на 40% по сравнению с затуханием при сухой погоде. С повышением частоты эти отклонения еще более увеличиваются. Изменение затухания для данного конкретного случая определяют след. образом. Пусть имеется линия с диаметром провода 4 *мм*, протяжением 600 *км* при несущей частоте 25 кц/ск. Общее затухание при сухой погоде будет равно 4,8 непера, в очень сырую погоду — 6,0 неперов; разница — 1,2 непера. На более длинных линиях, в случае применения промежуточных усилителей (трансляций) или переприема, отклонения эти могут достигать очень значительной величины. Устойчивость передачи в значительной степени зависит от качества изоляторов. Применяя изоляторы соответствующего типа, дающие даже и в сырую погоду небольшие потери для токов высокой частоты, можно достигнуть еще большей устойчивости передачи. Приведенные здесь данные затухания относятся к проводам, подвешенным на телефонных изоляторах старого стандартного типа, которые до сих пор применяются еще на большинстве телефонных линий. В настоящее время начинают однако входить в употребление изоляторы нового улучшенного типа, при которых изменения в затухании, происходящие вследствие изменения атмосферных условий, уменьшаются в 3 раза, абсолютная же величина затухания для высоких частот уменьшается до 25%. Как было указано выше, для телефонирования

несущими токами пользуются в большинстве случаев воздушными линиями. Когда такие линии проходят через густо населенные районы, необходимо нек-рые участки воздушных линий убрать в кабели. Вследствие малого диаметра кабельных жил и близкого взаимного расположения их затухание при высоких частотах достигает значительной величины даже и на сравнительно небольших участках кабеля. В связи с этим были предложены особые способы пупинизирования кабелей (см. *Пупинизация*), к-рые позволили значительно уменьшить затухание при высоких частотах и благодаря к-рым волновое сопротивление кабельной цепи в значительной мере приближается к волновому сопротивлению воздушных линий, вследствие чего уменьшаются потери от отражения. Этот факт имеет весьма существенное значение, так как волновое сопротивление воздушной цепи колеблется от 600 до 700 Ω, непупинизированный же кабель имеет волновое сопротивление порядка 130—150 Ω. Возникающие при этом потери вследствие отражения достигают большой величины даже и на коротких участках непупинизированных кабелей. В современных пупинизированных кабелях, применяемых для систем несущих токов, катушки (самоиндукция их $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ Н) ставятся на расстоянии ~ 200 *м*. Пупинизированные кабельные линии имеют волновое сопротивление, близкое к волновому сопротивлению воздушной линии на всем диапазоне частот, применяемом для передачи несущими токами. Пупинизация уменьшает затухание кабеля для высокой частоты примерно вдвое. Для станционных кабелей и проводов и для очень коротких промежуточных и входных кабелей применяются особые способы пупинизирования.

Связь на несущих частотах почти не испытывает мешающего влияния со стороны посторонних токов. Однако это объясняется скорее устройством аппаратов и установок, чем свойствами токов высокой частоты. Наш опыт показал, что если не принимать специальных предохранительных мер, то могут возникнуть мешающие воздействия от следующих посторонних источников энергии: а) высших гармоник силовых установок; б) частот, производимых силовыми линиями, например в случаях возникновения дуги на изоляторах, при действии предохранителей различных видов, при работе электрич. ж. д., при групповом уличном освещении и т. д.; в) систем несущей частоты, применяемых на линиях передачи электрич. энергии; г) мощных радиостанций. Силовые установки дают обычно гармоники, частота к-рых лежит вне того диапазона, к-рый применяется для системы несущих токов, вследствие чего эти системы испытывают значительно меньше помех со стороны гармоник силовых установок, чем обыкновенные телефонные линии тональной частоты. Однако в некоторых случаях, например когда в системе группового уличного освещения, обслуживаемой отдельными групповыми трансформаторами или автотрансформаторами, перегорает лампа, то получающееся при этом насыщение магнитной цепи трансформатора вызывает гармоники значительной силы, частота к-рых достигает 30 кц/ск. и выше, и к-рые вносят заметные помехи в систему телефонирования несущими токами. Более серьезным источником помех являются неисправности в силовых линиях, при к-рых получается образование дуги; сюда относятся возникновение дуг на изоляторах, утечка через деревья, касающиеся проводов линии, действие громоотводов, ненормальное искрение коммутатора или контактного кольца, переключение и т. д. Иногда телефонные системы несущих токов интерферируют с лежащими вблизи них силовыми линиями, используемыми для телефонной передачи несущими токами. Вследствие широкого распространения систем несущей частоты на силовых магистралях и в виду того, что применяемая в них мощность передачи во много раз превышает мощность описанных здесь систем, интерференция со стороны их могла бы стать источником более серьезных помех, если бы эти линии не работали на частотах более высоких, чем тот диапазон частот, к-рый применяется для телефонных линий. Радиотелеграфные станции, работающие на частотах, лежащих в диапазоне, используемом для установок многократного телефонирования, могут явиться источником помех там, где линии несущих токов проходят сравнительно близко от радиостанций. Воздушные телефонные линии играют роль длинноволновых антенн и принимают энергию, получаемую радиостанциями. Эта энергия попадает сначала в провод и затем уходит в землю. Но вследствие остаточной асимметрии линии часть энергии неизбежно попадает в приемные аппараты в виде звуков, напоминающих гетеродинные сигналы в радиотелеграфном приемнике. Молния и другие статич. разряды являются главной причиной шумового фона, наблюдающегося во всех линиях несущей частоты. Помехи эти обычно невелики, если не считать такие случаи, как гроза и т. д.

Воздушные телефонные линии, расположенные в непосредственной близости друг от друга, при одновременной работе подвержены взаимному влиянию (явлению подслушивания) вследствие индуктивного и емкостного взаимодействия проводов. Для многопроводных воздушных линий этот вопрос имеет серьезное значение даже и в том случае, когда применяемые частоты не превышают тонального диапазона. Для устранения переходных разговоров применяется скрещивание, *транспозиция* (см.) проводов. С повышением частот, используемых для передачи, мешающее влияние линий друг на друга усиливается. Поэтому транспозиции проводов линий, используемых для несущих частот, устанавливаются значительно чаще, чем на линиях, работающих лишь низкой частотой (в некоторых случаях даже через столб). Явление подслушивания можно значительно уменьшить следующими мерами: 1) правильным установлением направлений несущих частот; 2) выравниванием уровней передачи между системами несущей частоты, работающими по линиям, которые идут параллельно на большом протяжении; 3) применением ступенчатого распределения частот (фиг. 17); 4) тщательной согласован-

ностью отдельных частей телефонной цепи (аппараты, линия и т. д.).

Усилители устанавливаются в том случае, когда протяжение линии превосходит расстояние, при к-ром конечные передающие аппараты могут поддерживать необходимый уровень передачи. Роль усилителя следовательно состоит в усилении несущих токов т. о., чтобы последние, достигая следующего участка линии, были по величине сравнимы с токами, приходящими с конечной станции. Очевидно, что требования, предъявляемые усилителями в отношении степени усиления, мощности и т. д., колеблются в широких пределах в зависимости от длины линии, частоты и т. п. Опыт показал, что наиболее целесообразно устанавливать усилители высокой частоты на расстоянии, равном приблизительно расстоянию между усилителями низкой частоты, работающими на той же линии. Это расстояние в среднем равно 240—450 *км*, в редких случаях оно несколько больше. Благодаря установке усилителей низкой и высокой частоты на одной и той же станции сокращается оборудование, упрощается содержание, и получается возможность пользоваться одним и тем же источником питания. Требуемые усиления и мощность определяются т. о. расстоянием между усилителями. Усиление зависит от затухания линии между усилителями, а мощность от уровня энергии на выходе усилителя, к-рый необходим для обеспечения передачи. В виду большого затухания линии в диапазоне несущих частот усилитель несущих токов должен давать такое максимальное усиление, к-рое приблизительно раза в четыре превосходило бы усиление, даваемое усилителем низкой частоты, работающим на той же самой линии. Если усиление порядка 1,5 непера легко может быть получено от усилителей низкой частоты, работающих с искусственными линиями по двухпроводной системе, то усиление в 4,5 непера, к-рое должны давать усилители высокой частоты, требует или работы без искусственных линий или перехода на четырехпроводную систему.

Первоначальные системы телефонирования несущими токами в сравнении с подвеской новых проводов являлись экономически более выгодными лишь для расстояний, превышающих 500 *км*; системы, применяемые в настоящее время, дают экономию и на значительно меньших протяжениях (до 300 *км*). Этот факт стимулировал широкое распространение установок многократного телефонирования несущими токами. Нельзя не признать т. о., что телефонирование несущими токами является одним из главных факторов в развитии дальней телефонной связи, где применение его дает значительную экономию. Введение новых систем значительно удешевило эксплоатацию и дало возможность в Америке снизить тариф на междугородные разговоры. Эксплоатационные требования, предъявляемые при телефонировании несущими токами, в основном не отличаются от требований, предъявляемых к коммерческ. телефонным линиям, работающим другими способами. Задача заключается в установлении такой междугородной телефонной связи между двумя отдаленными станциями, которая удовлетворяла бы определенным стандартам передачи в отношении громкости, устойчивости и качества передаваемой речи. Для удовлетворения последнего условия необходимо, чтобы полоса передаваемых тональных частот имела определенный диапазон. Кроме того необходимо сократить до минимума эффекты, вызывающие искажение, а также устранить с линии шумы и явление подслушивания. Сигнализационная система д. б. устроена т. о., чтобы телефонистки конечных станций могли вызывать друг друга, иначе говоря, система должна работать как обыкновенная телефонная линия. **М. Юрьев.**

Лит.: Гаррисон Г. Г., Буквопечатающие аппараты и механизмы, М., 1926; Яблочковский П. А., Электрич. телеграф, М., 1923; Шмаков П. В., Радио по проводам, М., 1927; его же, Проволочный радио в Америке, «Техника связи», М., 1923, т. 2; Юрьев М. Ю., Многократная телефония с помощью высокочастотных токов, «Жизнь и техника связи», М., 1924, *8*, *9—10*; Boddie C. A., Telephone Communication over Power Lines by High Frequency Currents, «Proc. of the Institute of Radio Eng.», N. Y., 1927, v. 15, *7*, p. 559; Sterky H., Neue schwedische Systeme für Hochfrequenzverbindungen auf Fernsprechleitungen, «The L. M. Ericson-Review», Stockholm, 1929, *10—12*, p. 137—154; Cruickshank, Voice Frequency Telegraphs, «JAIEE», 1929, v. 67, *391*.

МНОГОКРАТНЫЙ ПРИЕМ в радиотехнике. Многократные радиопередача и радиоприем являются существенным элементом технической организации современных *радиоузлов* (см.). Правильная эксплоатация радиосвязи требует осуществления как одновременной передачи разных сигналов несколькими (или одним) передатчиками с нескольких (или одной) антенн, так и одновременного приема многих корреспондентов при помощи одной (или нескольких) антенн. Управление всеми передатчиками, как и конечный прием (слуховой, чаще автоматический) получающихся радиосигналов от всех приемников, сосредоточивается в центральном бюро (радиоузле), причем передающие радиостанции (т. н. «передающий центр»), приемные установки (т. н. «приемный центр») и центральное бюро, всегда территориально разделенные расстояниями в несколько десятков *км*, связаны между собой проволочными (воздушными или значительно чаще кабельными подземными) линиями; т. о. осуществляется многократная дуплексная радиосвязь.

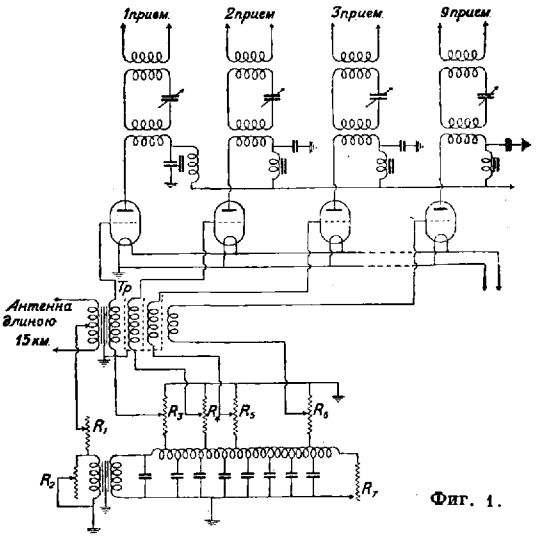
Многократная радиопередача до последнего времени практически осуществлялась в виде схемы передатчиков, пространственно разделенных и работающих каждый только на одну антенну. Если удаление передатчиков один от другого и разность частот колебаний, излучаемых ими, достаточно велики, то одновременная эксплоатация их не вызывает затруднений. Однако при значительно чаще применяющемся устройстве передатчиков на одной территории («передающий центр») для избежания взаимных влияний приходится часто использовать «отвязывание» антенн (см. *Связь*) и кроме того, располагая их на данной местности, выбирать частоты излучаемых ими колебаний таким образом, чтобы избежать взаимных воздействий. Делались неоднократно попытки получения многократной

радиопередачи при помощи только одной антенны, на которую работало два (редко более) передатчика (применялись искусственные методы—напр. получение волн связи в ламповом генераторе, выделение гармоник в машинном передатчике), излучавшие две или больше частоты. Однако эти системы не привились. Лишь в последние годы в связи с развитием коротких волн в ряде государств (СССР, Англия, Германия) для многократной радиопередачи используют коротковолный передатчик со многими модуляциями. Так, Маркони в одном и том же передатчике практически применяет модуляции: 1) телефонную—в пределах 400—3 000 пер/ск.; 2) две телеграфные—на частотах 7 000 и 9 000 пер/ск. На приеме эти частоты, получаемые при одной и той же несущей частоте (см. *Несущая волна*), разделяются при помощи надлежащих фильтров и направляются: телефонная модуляция—абоненту, а телеграфные—в пишущее устройство. В этом случае реализуемый за счет глубины модуляции суммарный коэф. модуляции не может превосходить 95—100% (см. *Модуляция*). Достоинством такой схемы являются: 1) возможность регулирования мощности по отдельным направлениям, 2) занятие в эфире полосы частот, втрое меньшей требующейся для трех отдельных передатчиков. Недостатком схемы является значительная сложность устройства как на передающей, так и на приемной стороне.

Многократный радиоприем в современном виде, в противоположность передаче (происходящей на открытых антеннах), использует всегда замкнутую форму радиосети в простой или *кардиоидной схеме* (см.) и *волновую антенну* (см.), так как такие радиосети, обладая значительной направленностью, позволяют уменьшить воздействие на приемник атмосферных помех и исключить мешающее действие собственных (т. е. того же радиоузла) передатчиков. Сигналы, подаваемые затем в центральное бюро узла, могут приниматься в одном или нескольких пунктах (приемных центрах).

Исторически, вначале для М. п. применялись устройства отдельных антенн (контурных или рамочных) для каждого приемника. В СССР эта мысль нашла себе отражение в конструкции В. Баженова [1,2,3], реализовавшего путем подвеса на одной мачте семи замкнутых антенн в виде различной конфигурации и разного числа витков контуров семикратный одновременный радиоприем. В З. Европе та же идея осуществлялась путем устройства рамок или контурных антенн на расстоянии нескольких сот м одна от другой, причем для каждого приемника или группы в 2—3 приемника требовались отдельное здание и особый персонал. В настоящее время (после 1925 г.) наиболее употребительным является устройство М. п. на одной антенне: для этой цели используются или гониометр или волновая антенна; подробное изложение схем и принципов устройства М. п. при помощи первого—см. *Гониометр*; теперь развивается использование для М. п. двух или нескольких гониометров [4]; поэтому далее описывается М. п. в случае применения волновой антенны.

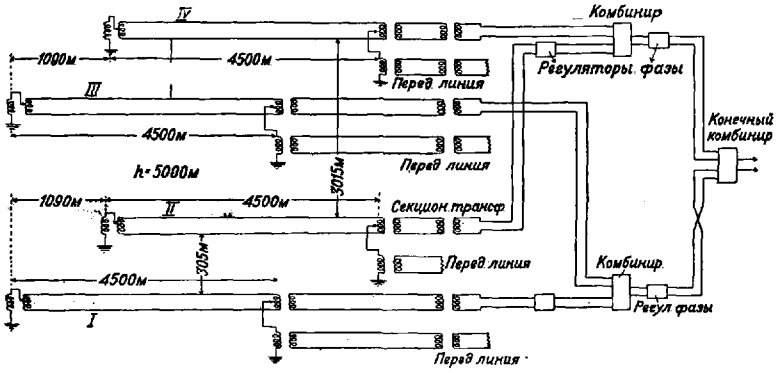
Волновая антенна дает возможность М. п. корреспондентов, лежащих в одном направлении (примерно в секторе 60°) в двукратном диапазоне волн. Все европейские радиостанции в Северной Америке «видны» под углом не больше 60°, поэтому волновая антенна именно в Америке получила наибольшее распространение. На фиг. 1 показана схема девятикратного приема европ. корреспондентов в местечке Ривирхид (приемный центр нью-йоркского радиоузла); здесь сопротивлениями R_1 и R_2 регулируют амплитуды эффекта открытой антенны от снижающегося провода, предназначенного для компенсации этого именно эффекта. Сопротивления R_3, R_4, R_5 и R_6, а также искусственная линия (она служит компенсатором фазы) тоже



Фиг. 1.

предназначены для подбора амплитуды и фазы тока, устраняющего эффект открытой антенны. Одна и та же антенна распределяет принятую энергию по всем приемникам при помощи специального трансформатора с 9 вторичными обмотками, заэкранированными одна от другой (приемники связываются с антенной каждый через отдельную лампу—см. *Гониометр*, фиг. 12). Для твердо зафиксированных волн применима конструкция из нескольких волновых антенн (фиг. 2); однако эксплоатация при этом получается очень сложной. Затруднения, возникающие при осуществлении М. п., заключаются главн. обр. в следующем: 1) в случае приема с нескольких антенн—взаимное влияние последних; 2) в случае приема с нескольких антенн (также и при одной антенне) — непосредственное излучение гетеродинов приемников (см. *Гетеродинный прием*). Первое затруднение устраняется соответствующим расположением антенн, формой их [5] и выбором различного диапазона принимаемых частот. Уменьшение же влияния излучения гетеродина достигается: 1) надлежащим *экранированием* (см.) гетеродина; 2) применением очень слабо излучающих вовне тороидальных катушек; 3) получением в гетеродине колебаний только первого рода. Вредное действие гетеродина

уменьшается, если при конструировании схемы: 1) отказаться от многократного гетеродинирования, 2) с детекторной лампой устраивать слабую связь, 3) употреблять преимущественно усиление по высокой частоте, 4) гетеродин удалять от цепей высокой



Фиг. 2.

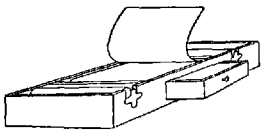
частоты, а также входных. Помехи гетеродинов при М. п. тем значительнее, чем выше частота принимаемых волн.

М. п. возможно устроить и при приеме на открытую (апериодическую) антенну; схема такого приема не отличается принципиально от фиг. 12 в ст. *Гониометр* (см.). Для М. п. коротких волн, еще не получившего широкого распространения, прием на открытую антенну является наиболее употребительным. В настоящее время все радиостанции М. п. (обычно служащие выделенными приемниками при радиоузлах), конструируемые европ. фирмами, являются гониометрического типа; только америк. фирмы во всех своих постройках станций М. п. используют схему волновой антенны.

Лит.: [1]Сов. П. 5261, 9673; [2]Г. П. 430695; [3]«ТиТбП», 1921, *13*, 1924, *27*; [4] E s a u A., Die Vergrösserung d. Empfangsbereiches bei Doppelrahmen u. Doppelcardioidenanordnungen durch Goniometer, «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1922, B. 30, *5*, p. 141; [5] Г. П. 420450.—Б а ж е н о в В. И., Основы теории радиоприема, вып. 1, М., 1930; К у к с е н к о П. Н., Направленный радиоприем, М., 1930.

МНОЖИТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И МАШИНЫ употребляются в конторской практике для получения копий с документов, чертежей и рисунков. Множительные аппараты делятся на печатающие: 1) с массы (гектографическим способом), 2) при помощи трафаретов, 3) литографским, 4) типографским и 5) фотографич. способами.

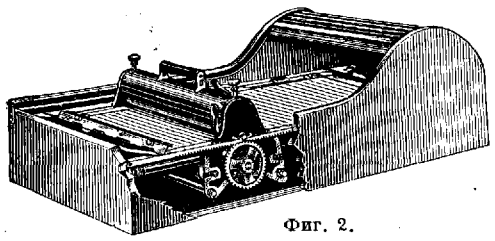
1. Г е к т о г р а ф и ч е с к и е а п п а р а т ы. Оригинал, написанный на хорошей плотной бумаге от руки гектографич. чернилами или на машинке при помощи гектографич. ленты, прижимается к массе, впитывающей в себя чернила (краску ленты). К полученному т. о. клише прикладывают листы писчей бумаги, прокатывают и получают соответствующие копии. По окончании работы клише смывают губкой, смоченной в теплой воде. Первоначально гектографические чернила изготовлялись на сахаре и давали очень ограниченное число оттисков. С изобретением в 1879 г. чернил из метилвиолета (см. *Метиловый фиолетовый*) стало возможным получать до ста оттисков. В настоящее время чернила изготовляются из спирта, анилиновой краски и дистиллированной воды с незначительным добавлением фенола и гуммиарабика или глицерина. Гектографич. масса изготовляется из клея (желатины) с глицерином. К этой смеси по различным рецептам добавляют в небольших количествах сернобариевую соль, декстрин, окись цинка и т. п. Масса для аппаратов этого типа изготовляется также из глины с примесью глицерина. Рецепты гектографич. масс: 1) 4 ч. отбеленного столярного (костяного) клея, 15 ч. воды, 20 ч. глицерина, 2 ч. тщательно измельченной сернобариевой соли; 2) 8—10 ч. желатины, 20 ч. воды, 20 ч. глицерина, 5 ч. декстрина (иногда добавляют 4 ч. сахара и 3 ч. окиси цинка); 3) 4 ч. клея, 5 ч. воды, 3 ч. аммиака, 2 ч. сахара, 8 ч. глицерина. Наиболее примитивные аппараты состоят из металлич. ящика, в к-рый наливают клеевую массу. Неудобство этих аппаратов заключается в необходимости по окончании работы ожидать, когда масса впитает чернила старого клише и будет вновь готова к употреблению. Усовершенствованный в 1891 г. А. Шапиро аппарат (фиг. 1) состоит из рулона ленты, на к-рую нанесен слой гектографич. массы. Лента эта по мере использования перематывается с одного валика на другой, что дает возможность не дожидаться впитывания лентой чернил использованного клише, а употреблять каждый раз свежий участок ленты. Недостатками гектографич. аппаратов являются: медленность работы (до 100 оттисков в час), незначительное число копий с одного клише (максимум 100 при весьма высоком качестве чернил и массы), уменьшение ясности каждой последующей копии вследствие всасывания чернил бумагой и массой, а также большая зависимость от $t°$ и других внешних условий. Имеется очень большое число разновидностей гектографич. аппаратов. Наиболее распространенные из них: бареограф, блисограф, гуинон, копиист, рапидограф, шапирограф, гектофикс, гектопеликан, оптимус, айронклед, спидограф, дуплигрант, эфишенси, накитон и др.



Фиг. 1.

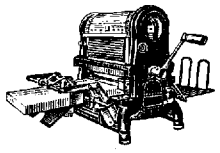
2. А п п а р а т ы, р а б о т а ю щ и е п р и п о м о щ и т р а ф а р е т о в. Оригинал пишут посредством пишущей машинки, с к-рой снята лента, или от руки специальным пером или шилом на особой восковой или фибровой бумаге. При этом в восковом слое бумаги получаются отверстия (соответствующие тексту документа). Изготовленный т. о. трафарет накладывают на смоченную краской подушку или вал. При прикладывании к трафарету бумаги и прокатывании ее вали-

ком сквозь отверстия трафарета, выступает краска и оставляет оттиск на бумаге. Восковая бумага применена впервые для размножения документов в 1873 г. Эдисоном, изобревшим мимеограф. Но достаточно прочная и пригодная для письма на машинке бумага появилась лишь с 1888 г. Для изготовления «восковок» употребляется японская бумага из растительного волокна. Бумажную полосу пропитывают воском, путем протягивания через ванну с растопленным восковым составом. Качество бумаги для трафаретов непрерывно совершенствуется. В последнее время изобретена фибровая бумага, из к-рой изготовляются постоянные трафареты. По употреблении эти матрицы можно снимать и затем, в случае надобности, снова пускать в дело через нек-рое время. Они не ломаются и не размягчаются, а также выдерживают большое число оттисков. Краска для размножения при помощи восковых трафаретов изготовляется по преимуществу на масле. Для работы с постоянными матрицами употребляют краски, изготовленные как на масле, так и на воде. Бумага для печатания на аппаратах, печатающих шаблонами, употребляется волокнистая, пористая, хорошо впитывающая краску. Множительные аппараты, работающие с трафаретов, разделяются на плоские и ротационные. Плоские аппараты состоят из металлического ящика, на дне к-рого находится подушка для краски. Над подушкой расположена рамка с натянутой шелковой сеткой, к к-рой прикрепляется трафарет (восковка) лицевой стороной книзу. На рамку с трафаретом накладывается бумага, по которой проводят валиком, прижимающим рамку и бумагу к подушке с краской, вследствие чего проникающая сквозь отверстия трафарета краска оставляет оттиск на бумаге. В нек-рых аппаратах вместо прижимающего валика употребляется крышка. В других (фиг. 2) окраска производится находящимся между подушкой и рамкой валиком, движущимся вдоль ящика при помощи рукоятки. В простейших аппаратах (дерби, брюко, бундс, грейф, диваграф и др.) бумага накладывается ручным способом. В более усовершенствованных (типидо, гелакс, диво, брюкофис и др.) бумага вкладывается стопами, вследствие чего производительность их можно довести при очень совершенной работе до 500 оттисков в час. Преимущество этого рода аппаратов перед гектографическими заключается в большей интенсивности окраски и большей производительности с одного клише. Ротационные аппараты имеют много разновидностей: простейшие ручные (фиг. 3) имеют один барабан (ронео, ропакс, ротари, ундервуд и т. д.), покрытый



Фиг. 2.

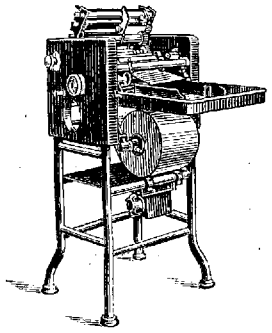
тканью, пропитанной жидкой краской. При поворачивании барабана бумага прижимается к трафарету находящимся внизу валиком, причем краска с барабана просачивается сквозь трафарет и дает оттиск на бумаге. В нек-рых системах ротационных аппаратов (гештетнер, ротори, ротафикс и др.) применяется дополнительный вал, к-рый растирает густую краску и наносит ее на обратную сторону трафарета через шелковую сетку. В отдельных моделях автоматизирована и самая подача краски на вал. Для одновременного печатания с обеих сторон применяются ротационные аппараты с двумя барабанами. Имеются четырехбарабанные аппараты для многокрасочного печатания с обеих сторон. Для ускорения печатания отдельные модели снабжаются приспособлениями для автоматической подачи бумаги (фиг. 3) и приводятся от электродвигателя. Наиболее усовершенствованные модели могут дать до 4 000 оттисков в час. Преимущества ротатора — быстрота работы и относительно большое число оттисков с одного клише. Недостатки — неравномерная, иногда с «пролысинами» печать, хрупкость трафаретов и зависимость от $t°$-ных влияний.



Фиг. 3.

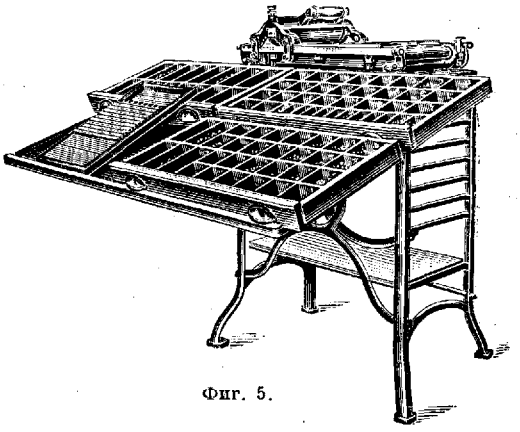
3. Аппараты литографского типа. Литографский способ печатания, основанный на использовании сцепления между жирными веществами, как простой и дешевый, неоднократно пытались применить в конторской работе, но неудачно. Лишь с открытием применения для литографирования алюминиевых и цинковых пластин, появились в конце 19 в. множительные аппараты литографского типа. В 1910 г. был изобретен способ печатания на стекле. При печатании с алюминиевых или цинковых пластин оригинал изготовляется от руки или на пишущей машинке, куда пластинка вставляется, как обыкновенная бумага. Текст наносится жирной лентой, автографич. чернилами, тушью или жирным мелом. Затем лист смачивается камедистой жидкостью. По высыхании, требующем нескольких минут, пластинка вставляется в машину и готова к печатанию. Пластинки могут сохраняться неопределенно долгое время, а также счищаться и употребляться до 10 раз. Простейший аппарат этого рода — ручной ротатор опалограф, в к-ром на барабан ротатора надевается алюминиевая пластинка, изготовленная указанным выше способом. Краска накатывается автоматически специальным валиком. Аппарат дает до 1 800 оттисков в час. Значительно более сложен аппарат рота-принт (фиг. 4), приводимый в движение электромотором. Рота-принт печатает с бумажного рулона, автоматически разрезаемого на любой формат. Производительность до 6 000 оттисков в час. Еще более сложна ротационная машина шварц-прессе, клише к к-рой изготовляется из металлич. фольги, на которую оригинал переводится фотографич. путем. Для перевода годится всякий напечатанный или написанный оригинал.

Клише хорошо сохраняется, но также легко и смывается по миновании надобности. Машина приводится в движение электромотором. Производительность машины до 1 500 оттисков в час. Для печатания может употребляться любая бумага как гладкая, так и шероховатая. Преимущества перечисленных аппаратов заключаются в точности и легкости воспроизведения, быстроте работы, чрезвычайно большом числе оттисков с одного клише, долгой сохраняемости клише, легкой возможности внесения исправлений и возможности печатания в несколько красок. Для печатания со стекла применяют в аппарате опалограф матовые стеклянные, фарфоровые и эмалированные плитки, в аппарате стеклограф—зеркальные и шлифованные стеклянные плитки. Оригинал пишут на писчей бумаге от руки специальными чернилами или же на машине при помощи особой ленты. Чернила изготовляются по различным рецептам в основном из разведенного пашатырного спирта и хлористого цинка, лента же пропитывается смесью раствора хлористого цинка с глицерином. По изготовлении оригинала поверхность стекла смачивают раствором солей алюминия или железа в смеси с глицерином. Затем раствор стирают и на стекло накладывают оригинал, к-рый прижимается к поверхности стекла на несколько минут другим стеклом или каким-либо прессом. Полученное т. о. клише проявляют раствором глицерина и различных солей. При печатании (перед каждым оттиском) на клише ручным валиком накатывают густую краску, изготовляемую на масле, затем накладывают лист бумаги, к-рый прокатывают для получения оттиска чистым валиком. Бумага употребляется гладкая писчая. Во избежание размазывания или склеивания листы оттисков прокладывают бумажной макулатурой или припудривают тальком. По окончании работы клише легко смывается соляной к-той, и стекло вновь готово к употреблению. Недостатком стеклографа является медленность работы (до 100 оттисков в час), преимуществами—четкость оттисков, очень большое число оттисков с одного клише, портативность и простота работы.



Фиг. 4.

4. Аппараты типографского типа представляют собой приспособленные для конторских условий типографские скоропечатные машины в соединении с наборными и разборными аппаратами. Они разделяются на плоские и ротационные. В большинстве случаев набор производится обычным ручным способом. Рисунок шрифта обычно подражает буквам пишущей машинки, чтобы оттиски не отличались от обычного оригинального письма. Для ускорения набора имеются наборные и разборные машины с клавиатурой, как у пишущих машин, системы Родерталь, наборно-разборные аппараты фрео, дебего, допаг, мультиграф, миллиотип и др.; большинство из них однако довольно примитивно. Плоские печатные машины (фиг. 5) имеются двух типов. При неподвижном наборе (альфа, брео, милиотип, дреготип, тахотип и др.), над последним натянуто пропитанное краской полотно, как в пишущей машинке. На полотно накладывают лист бумаги, по которому прокатывают движущийся по рельсам валик. Степень нажима валика регулируется винтами. Оттиск получается при каждом движении валика. В машинах с подвижным набором (родерталь, эло, фиксотип, стукотип и др.) набор укреплен на скользящих по рельсам салазках, над которыми натянуто красящее полотно. Бумага, накладываемая на полотно, прижимается укрепленным неподвижно в центре машины валиком. В этих машинах применяются также валы, накатывающие типографскую краску на набор; красящее полотно при этом выключают. Как в первом, так и во втором случае возможно многокрасочное печатание. Ротационные печатные машины (дапаг, дебего-рекс, энос, мультиграф, пресило, ронеотип и др.) снабжены барабанами с желобками, в которые вставляется набор, и красящими полотнами. Нек-рые машины снабжены также валиками для накатки краски. Машина монакс-комбинатор, благодаря особому устройству барабана, может печатать как с набора, так и с трафаретов.



Фиг. 5.

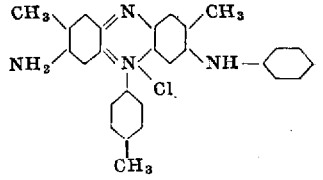
При применении разноцветных красящих полотен, перечисленные машины пригодны и для многоцветного печатания.

5. Аппараты фотографич. типа изготовляют точные копии с оригинала в несколько секунд. Многие приспособлены для массового размножения копий (см. *Светокопировальные аппараты*).

Лит.: Гуревич Е. и С., Спутник практика, 2 изд., М.—Л., 1930; Ермаков А. В., Краткое руководство работы на стеклографе, Екатеринбург, 1921; Illustriertes Büromaschinen-Dauer-Lexicon in Kartothekform u. Bezugquellen-Kartei für Organisations-Geräte, hrsg. v. L. Brauner, B., 1927—29 (картотека ежегодно пополняется); Wallon K., Kontormaschinen, Handbuch d. neuzeitigen maschinellen Hilfsmitteln u. ihre Verwendung im Kontor, Stg., 1922; Lehner S., Die Tintenfabrikation, 7 Auflage, W.—Lpz., 1920; Koller Th., Die Koper- u. Vervielfältigungverfahren, 2 Aufl., W.—Lpz., 1921; The Business Machines and Equipment Digest, Equipment-Research Corporation, Chicago, 1927. **Н. Колосов.**

МО, единица электрической *проводимости* (см.), т. е. проводимость электрич. цепи, электрическое сопротивление к-рой равно одному *ому* (см.). Проводимость—величина, обратная сопротивлению. Этим объясняется происхождение слова М. (mho), образованного чтением справа налево слова ohm. В герм. литературе вместо М. применяется для обозначения единицы проводимости слово «сименс» или сокращенное обозначение—S; однако обозначение это не получило большого распространения вне Германии.

МОВЕИН, основной азониевый краситель, фенилированный сафранин, строения (предположительно)



М. представляет исключительно историч. и теоретич. интерес как первый синтетич. краситель. М. был получен впервые В. Перкином в 1856 г. при попытке синтетич. получения хинина окислением смеси анилина и производных толуидина. Нек-рое время несмотря на высокую цену (до 500 руб. за *кг*) М. служил объектом промышленного производства и применялся для окраски шелка. Выход М. не превышал 5% вследствие образования значительных количеств нерастворимых продуктов окисления аминов, как черный анилин и т. п. М. изготовляется в настоящее время в небольших количествах и применяется исключительно в Англии для окраски фиолетовых марок (*см. Азиновые красящие вещества* и *Красящие вещества*).

Лит.: Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, Technologie d. Textilfasern, hrsg. v. R. Herzog, B. 3, B., 1926. **И. Иоффе.**

МОДЕЛЬНОЕ ДЕЛО, совокупность принципов конструирования моделей и производство их. Для изготовления формы для отливки применяются модели, шаблоны и стержневые ящики. Применение моделей и шаблонов определяется характером отливаемой детали и условиями производства. Модель в основном представляет собой копию будущей отливки по ее наружным очертаниям. Внутреннее очертание отливки как правило создает стержень, изготовляемый при помощи стержневых ящиков. Шаблон не является копией очертаний отливки, но служит так же, как и модель, для получения формы отливки. Модели бывают деревянные, металлические, цементные и гипсовые.

Наиболее употребительны деревянные модели, применяемые как для ручной, так и для машинной формовки. Лесные материалы, к-рые употребляются в М. д., следующие: сосна, ольха, грушевое дерево, орех. Сосна применяется для больших деталей, ящичных ящиков больших и средних размеров и для усилений конструкций ящиков. Ольха плотнее сосны, вследствие чего поделки м. б. чище обработаны в своей торцовой части. Грушевое и ореховое дерево применяется гл. обр. для моделей тонкостенных. Эти сорта дерева весьма прочны и зачастую применяются для моделей вместо металлических. Известно из практики, что деревянные модели для машинной формовки, изготовленные из соответствующего материала, выдерживают до 15 000 формовок.

Металлические модели, применяемые гл. обр. для машинной формовки, изготовляются из чугуна, алюминия и сплавов красной меди. Модели из сплавов красной меди лучше поддаются полировке и находят применение в тонкостенных деталях (напр. цилиндр мотоциклетного мотора, авиамотора и т. д.). Модели из алюминия находят себе применение при изготовлении крупных деталей и при ручной формовке в серийном производстве. Применение моделей из чугуна ограничено исключительно простыми деталями. Попутно с этим следует отметить применение моделей деревянных с отдельными, часто отъемными деталями из металла. Металл в М. д. применяется также при изготовлении стержневых ящиков, но лишь в условиях массового производства; как правило стержневые ящики делаются деревянными.

Цементные и гипсовые модели применяются исключительно при машинной формовке, причем в этих моделях иногда отдельные выступающие части, легко повреждаемые при формовке, делаются металлическими. Преимущество цементных и гипсовых моделей перед металлическими заключается в дешевизне материала и простоте изготовления. Необходимым условием сохранения данных моделей является нахождение их в сухом помещении при отсутствии больших колебаний $t°$. В конечном итоге выбор того или иного материала для модели определяется амортизационным сроком модели и затратами на текущий ремонт.

В индивидуальных производствах и в случаях чрезмерной дороговизны модели для больших деталей, как напр. котлы, чаши, маховики, плиты и т. п., применяются шаблоны. Материал шаблона—дерево. Рабочая кромка шаблона для прочности иногда отделывается металлом. Для изготовления фасонных частей при формовке сложных деталей по шаблону приходится применять дополнительные модели (например обод маховика формуется по шаблону, а втулка и спицы его по модели). Пользуясь приводимыми ниже данными уд. весов, можно предварительно подсчитать примерный вес отливки, для чего необходимо вес модели помножить на уд. в. металла отливаемой детали и полученное произведение разделить на уд. в. материала, из к-рого сделана модель:

Чугун. отливки	7,0÷7,2	Олово	7,3
Стальн. »	7,8	Алюминий	2,6
Желтая медь (латунь)	8,2÷8,7	Воздушно-сухая:	
Бронза	7,4÷8,9	сосна	0,5÷0,76
Медные отливки	8,8	ольха	0,42÷0,68
Цинковые	6,9	орех	0,6÷0,8
Свинец	11,4	грушка	0,61÷0,73

Соединения отдельных частей модели. Отдельные части модели склеиваются между собой. Но т. к. модель находится при формовке в соприкосновении с влажной и теплой землей, то одно соединение клеем недостаточно, и там, где это возможно, склеенные части моделей соединя-

ются шурупами. Для центрирования отдельных частей модели применяют шипы различных типов: дисковые, латунные и забивные (втулка из латуни, шип из железа) американского типа. Забивные шипы имеют преимущество перед дисковыми, к-рые держатся только на шурупах. При частом употреблении шишечного ящика латунные дисковые шипы расшатываются. Кроме того для крепления приставных частей модели применяются стальные шпильки. Шпильки должны свободно входить в предварительно просверленное отверстие приставной части модели. Кожаные галтели заменяют галтели из мастики. В продаже (на заграничном рынке) имеются галтели радиусом в 2, 3, 5, $6^1/_2$, 8, 10, 13, 16, 20 и 25 *мм*.

Окраска моделей. Изготовленные модели окрашиваются, смотря по назначению, в различные цвета. В таблице приведены данные комиссии по литейному делу—Ausschuss für Giessereiwesen «Gina»—для окраски литейных изделий.

Цвета окраски моделей.

Применение	Чугунные отливки	Ковкий чугун стальной отливки	Отливки из нежелезных металлов
Поверхности, остающиеся необработанными	Красный	Синий	Бесцветный лак с желтой полосой
Поверхности, подлежащие частичн. обработке	Желтый		
Поверхности, подлежащие полной обработке	Красный цвет с желтыми полосами	Голубой цвет с желтыми полосами	Бесцветный лак с желтыми полосами
Места установки приставных частей к моделям или шишечным ящикам	Зеленый		
Шишки и гнезда для шишек	Черный		
Надписи на моделях, частях модели и шишечных ящиках			
Предположенные закругления	Окаймление черной краской		
Литники, прибыли или усиленные припуски для обработки	Черные надписи и черные полосы на границах литника		
Откосные планки	Бесцветный лак (шеллак) с черной сеткой		

Принципы конструирования модели. Как правило чертеж модели отличается от чертежа готовой детали. Это положение вызывается особенностями литейного дела. Основная задача конструктора модели, определяющая метод формовки и заливки, выбор опок и пр., заключается в следующем: 1) правильно установить плоскости разъемов модели, 2) определить количество и место необходимых отъемных частей, 3) наметить необходимое количество стержней и опорных мест (знаков) для закрепления стержней. Модельные знаки—опорные места для стержней. Как правило в местах предполагаемого выхода стержня, из детали помещают знаки диаметром, равным диаметру цилиндрич. части стержня, близлежащего к знаку. Длина знака принимается обычно равной ок. 1—2 диаметров знака. Форма модельного знака м. б. принята прямоугольного сечения для предупреждения вращения стержня. Конструируя модель следует предусмотреть и места знаков для вывода и укрепления стержней. При этом должно иметь в виду, что впоследствии отверстие, сделанное знаком, будет заделано (пробкой, шпилькой и т. п.). Такие знаки, имеющие подсобный для литейщиков характер, называют обычно фальшивым знаком.

Конусность модели. Модель, не имеющая конуса, не может быть извлечена из земляной формы без повреждения ее. Придание модели конусности следует считать непременным правилом. Средняя величина конусности для модели примерно 2%.

Усадка металла. Т. к. при затвердевании металл получает усадку, то размеры модели приходится увеличивать на величину ее (изготовление модели ведется по усадочному метру). Ниже приведены средние общепринятые величины линейной усадки для разных металлов (в %):

Чугун	1
Стальная отливка	2
Латунь	2
Свинец	1
Медь	0,75
Алюминий	1,75
Цинк	1,5

Величина, на к-рую увеличивается модель по всем направлениям для усадки, называется припуском на усадку. Вопрос усадки особенно серьезен в условиях сборки двух входящих одна в другую деталей при диаметре > 1 *м*, поверхности соприкосновения которых механически не обрабатываются. В этих случаях иногда приходится считаться с величиной усадки, отличной от табличных данных.

Припуск на обработку. При конструировании моделей нужно учитывать толщину слоя металла, срезываемого при холодной обработке отливки. Величина припуска зависит от металла отливки, условий формовки и размеров детали отливки. Средняя величина припуска на обработку колеблется между 2—7 *мм*. Иногда припуск на обработку устанавливается заведомо чрезмерно большим—в 10—25 *мм*. Это объясняется необходимостью обеспечить получение чистой поверхности (без газовых ра-

ковин). Сюда относятся случаи, где по техническим условиям работы детали чистота поверхности после ее обработки должна быть непременно обеспечена.

Прибыли. В целях уплотнения отливки (цилиндры, поршневые кольца и т. п.) в формовочном деле широко применяются прибыли, которые следует учитывать при конструировании модели.

Кокили. Для достижения равномерного остывания и уплотнения отливки (в большинстве случаев в местах перехода от большого сечения стенок отливки к меньшему сечению) применяют кокили. Места кокилей, форма их, размер и метод их прикрепления учитываются при конструировании моделей и ящиков.

Шаблоны служат для проверки правильности выполнения формы, стержней и расположения последних. Чертеж шаблонов вырабатывается вместе с прочими модельными чертежами.

Производство моделей. Работа модельщика в большей мере сходна с работой столяра. Все способы обработки дерева аналогичны. Некоторое отличие составляет методика работы; работа заключается в следующем: 1) согласно модельному чертежу производится заготовка материала для всех отдельных частей модели; 2) отдельные разъемные части центрируются и склеиваются; 3) токарная обработка; 4) фрезеровка и ручная обработка там, где они требуются; 5) отделка; 6) проверка всех размеров модели; 7) окраска.

Станочное оборудование модельного цеха: 1) ленточная пила, 2) комбинированная строгально-фуговочная машина, 3) токарный станок по дереву, 4) шлифовальный станок по дереву, 5) круглая пила, 6) машина для заточки ножей и инструмента, 7) машина для разводки зубьев пил, 8) точильный камень, 9) универсальный фрезерный станок.

Хранение моделей. Организация хранения моделей построена на следующем принципе: модели, находящиеся в работе, и модели, направляемые для работы, хранятся в специальном оборотном складе при литейном цехе. Все использованные модели хранятся в отдельном складе. Склад обычно устраивают в сухих огнестойких помещениях. Техника безопасности в М. д. ничем не отличается от техники безопасности в деревообделочном производстве.

Лит.: Гавриленко А. П., Механич. технология металлов, 2 изд., ч. 2, выш. 2, М.—Л., 1928; Евангулов М. Г., Литейное дело, 5 изд., М.—Л., 1928; Левер Р., Модельное дело, перевод с немецкого, ч. 1—2, М., 1927; Handbuch d. Eisen- und Stahlgiesserei, hrsg. v. C. Geiger, 2 Auflage, B. 1—2, Berlin, 1925—27. **Е. Кузман и М. Коган.**

МОДУЛЬ, термин, применяемый в сопротивлении материалов, теоретической физике, различных отделах математики, служит для обозначения особенно важных коэфициентов, чисел и совокупности определенных чисел.

В сопротивлении материалов встречается т. н. М. упругости, или М. линейного растяжения или сжатия (модуль Юнга). Пусть имеется брусок, на равные основания которого действуют равные, противоположные и равномерно распределенные по площадям оснований силы P, и пусть будет далее длина бруска L, а площадь каждого из оснований s. Многочисленные опыты над растяжением и сжатием брусков различных материалов показали, что между так называемым растягивающим (сжимающим) напряжением

$$p = \frac{P}{s} \qquad (1)$$

и относительным удлинением (сжатием)

$$e = \frac{\Delta L}{L}, \qquad (2)$$

где ΔL—удлинение (сжатие) бруска, существует следующая прямая пропорциональная зависимость:

$$\frac{p}{e} = E, \qquad (3)$$

поскольку напряжения p не превышают известных пределов. Коэф-т пропорциональности E и есть М. упругости (модуль Юнга). Из (1), (2) и (3) следует, что

$$E = \frac{P \cdot L}{s \cdot \Delta L}. \qquad (4)$$

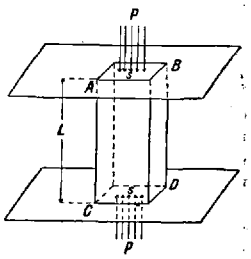
При $\Delta L = L$ получаем из (4)

$$E = \frac{P}{s} = p. \qquad (5)$$

Т. о. видно, что М. упругости численно равен такому растягивающему напряжению, при котором длина бруска удвоилась бы. Величина

$$\alpha = \frac{1}{E} \qquad (6)$$

называется коэфициентом растяжения (сжатия). Модуль E, определенный вышеуказанным способом, относится к изотермическому растяжению; при адиабатическом же растяжении получается другой модуль $E' > E$ (*см. Сопротивление материалов*). Выделим мысленно в данной практич. неограниченной среде призму $ABCD$ (фиг. 1), и пусть основания последней подвергаются давлению $p = \frac{P}{s}$. Если бы эта призма не была окружена со всех сторон данной средой, то длина ее стала бы равна на основании закона, выраженного ф-лою (4),



Фиг. 1.

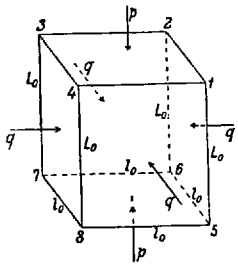
$$l = L - \Delta L = L - \frac{PL}{sE} = L\left(1 - \frac{p}{E}\right) = L(1 - \alpha p). \qquad (7)$$

Но т. к. боковые стенки призмы будут подвергаться воздействию окружающей среды, мешающей призме свободно расширяться в стороны, то действительная длина l' призмы будет больше той, которая определена формулой (7), а именно:

$$l' = L\left(1 - \frac{p}{E'}\right) = L(1 - \alpha' p). \qquad (8)$$

Т. к. $l' > l$, то из последнего равенства следует, что $E' > E$. Величина E' называется М. одностороннего сжатия слоя, а $\alpha' = \frac{1}{E'}$ — коэф-том одностороннего сжатия.

Между модулями E и E' существует зависимость, к-рую можно установить след. образом. Допустим, что из рассматриваемого слоя вырезан прямоугольный параллелепипед *12...8* (фиг. 2) с квадратным основанием, сторона которого равняется l_0. Пусть далее на боковые поверхности призмы действует давление q, а на плоскости оснований—давление p, причем требуется, чтобы в результате всех этих давлений длина ребер l_0 оставалась неизменной, а изменялась только длина боковых ребер L_0. Вследствие давлений p на плоскости оснований длина L_0 превращается в $L_0(1-\alpha p)$. Два боковых давления q, будучи приложены к граням *1265* и *3487*, уменьшают длины *85*, *76*, *41* и *32* и увеличивают длину L_0, при этом каждая единица длины последней становится равной длине $1+\alpha\mu q$, где μ есть отношение относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению (коэф-т Пуассона). Вследствие этого длина L_0 превращается в $L_0(1-\alpha p)(1+\alpha\mu q)$. Учитывая далее влияние давлений q на грани *1485* и *3267*, получаем, что под одновременным воздействием всех давлений длина L_0 превратится в



Фиг. 2.

$$L' = L_0(1-\alpha p)(1+\alpha\mu q)^2, \qquad (9)$$

или с достаточной для практич. целей степенью точности

$$L' = L_0\left[1-\alpha p\left(1-2\,\frac{q}{p}\,\mu\right)\right]. \qquad (10)$$

Сравнивая ф-лы (10) и (8), получаем:

$$\alpha' = \alpha\left(1-2\,\frac{q}{p}\,\mu\right). \qquad (11)$$

Величина отношения $\frac{q}{p}$ определяется таким образом. Ребро *85* находится под воздействием следующих противоположных влияний, вследствие к-рых оно сохраняет свою величину. Давления q на грани *1265* и *3487* изменяют длину l_0 в $l_0(1-\alpha q)$; давления q на грани *1584* и *2376* изменяют ее дополнительно в длину $l_0(1-\alpha q)(1+\mu\alpha q)$ и наконец давления p изменяют последнюю длину в $l_0(1-\alpha q)(1+\mu\alpha q)(1+\mu\alpha p)$, причем в результате получается та же длина l_0. Таким образом имеем:

$$l_0 = l_0(1-\alpha q)(1+\mu\alpha q)(1+\mu\alpha p), \qquad (12)$$

или

$$1 = (1-\alpha q)(1+\mu\alpha q)(1+\mu\alpha p),$$

откуда получаем с достаточной для практики степенью точности:

$$-q+\mu q+\mu p = 0,$$

или

$$\frac{q}{p} = \frac{\mu}{1-\mu}. \qquad (13)$$

Подставляя значение (13) в (11), имеем:

$$\alpha' = \alpha\,\frac{1-\mu-2\mu^2}{1-\mu} = \alpha\,\frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu}, \qquad (14)$$

или

$$E' = E\,\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}. \qquad (15)$$

Следовательно между модулями E и E', с одной стороны, и между величинами α и α', с другой, существуют для одного и того же материала определенные соотношения. Для неопределенно большого слоя очевидно $\mu = 0$, так что в этом случае имеем из (15) и (14) $E' = E$ и $\alpha' = \alpha$. При $\mu = \frac{1}{2}$ имеем: $\alpha' = 0$ и $E' = \infty$.

Допустим, что поверхность нек-рого тела объемом v подвергается всестороннему сжатию, равномерно действующему на всю поверхность тела с давлением p. Опытным путем найдено, что изменение Δv объема тела при малых деформациях прямо пропорционально величине объема v и давлению p, так что

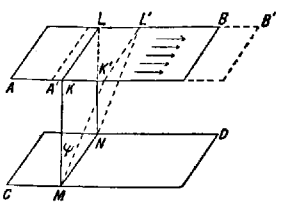
$$\Delta v = \gamma\cdot pv, \qquad (16)$$

где γ—нек-рый коэф. пропорциональности, называемый коэф-том всестороннего сжатия; величина же $K = \frac{1}{\gamma}$ называется М. всестороннего сжатия, или М. объемной упругости тела. Между модулями K и E существует следующая зависимость:

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)}. \qquad (17)$$

При $\mu = \frac{1}{3}$ имеем $K = E$.

Пусть имеются две параллельные плоскости AB и CD, проведенные внутри какого-либо твердого тела (фиг. 3), и пусть далее одна из плоскостей CD удерживается неподвижно, а другая плоскость AB подвергается действию параллельных сил, лежащих в этой же плоскости и равномерно распределенных по ней, вследствие чего плоскость AB сдвинется по отношению к плоскости CD, приняв положение $A'B'$. Проведем плоскость $KLMN$, перпендикулярную как к плоскости AB, так и к действующим в ней силам. После сдвига плоскости AB плоскость $KLMN$ примет положение $K'L'MN$, образовав с предыдущей двугранный угол ψ, называемый углом сдвига. Как показывает опыт, угол сдвига ψ прямо пропорционален действующей силе p, приходящейся на единицу площади AB, так что



Фиг. 3.

$$\psi = np, \qquad (18)$$

где n есть нек-рый фактор пропорциональности, называемый коэфициентом сдвига. Величина $G = \frac{1}{n}$ называется М. сдвига, так что

$$\psi = \frac{p}{G}, \text{ или } p = G\psi. \qquad (19)$$

Из (19) видно, что при $\psi = 1$, $G = p$, т. е. М. сдвига равен такому напряжению, под действием которого угол сдвига был бы равен единице, т. е. одному радиану, если бы значительно ранее этого не были достигнуты предел упругости тела и затем разрушение последнего. Между модулями G и E существует следующее соотношение:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}. \qquad (20)$$

Пусть имеется цилиндрич. стержень, одно основание к-рого закреплено, а другое подвергается действию пары сил, лежащей в этой же плоскости, и момент к-рой равен M (крутящий момент M). Под действием этой пары свободный конец стержня будет закручен на некоторый угол φ. Как установлено опытным путем, угол закручивания φ пропорционален моменту M вращающей пары, длине l стержня и обратно пропорционален четвертой степени радиуса r основания стержня (закон Кулона), так что

$$\varphi = C\frac{Ml}{r^4}, \qquad (21)$$

где C—нек-рая постоянная, зависящая от вещества стержня. Обозначая $\frac{Cl}{r^4}$ через k, имеем:

$$\varphi = kM, \qquad (22)$$

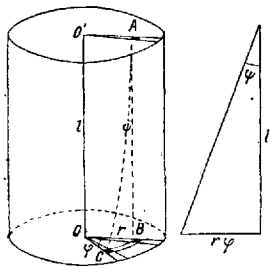
где k есть т. н. коэфициент кручения. Величина f, обратная k, называется М. кручения, так что:

$$f = \frac{1}{k} = \frac{r^4}{Cl} \qquad (23)$$

и

$$M = f\varphi. \qquad (24)$$

Между М. кручения f и М. сдвига G существует зависимость, к-рую можно установить следующим образом. Пусть имеем отрезок стержня с произвольным сечением и осью OO' (фиг. 4) и допустим, что нижнее основание повернулось в своей плоскости на угол φ по отношению к верхнему основанию, причем элемент ds нижней плоскости повернулся около центра O на такой же угол φ. Проведя через начальное положение B элемента ds нормаль к верхней плоскости, найдем в ней положение A соответствующего элемента площади. После поворота нижнего основания прямая AB превращается в винтовую линию AC, причем угол между ней и образующей $BAC = \psi$ характеризует угол сдвига. Развернув тр-к BAC на плоскость, получаем:



Фиг. 4.

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{r\varphi}{l}, \qquad (25)$$

где r—расстояние от элемента плоскости до центра O, а l—длина оси OO'. Вследствие обычной малости угла φ можно вместо (25) написать

$$\psi = \frac{r\varphi}{l}. \qquad (26)$$

Для того чтобы вызвать угол сдвига, равный ψ, необходимо, как мы видели выше, приложить к единице площади силу $G\psi$, или к элементу ds силу $G\psi\ ds$, причем момент последней силы относительно оси OO' очевидно равен $G\psi r ds$ или на основании (26) $\frac{Gr^2\varphi}{l}\ ds$. Откуда имеем, что момент M вращающей пары равен

$$M = \frac{G\varphi}{l}\int r^2\, ds, \qquad (27)$$

где интегрирование распространяется на всю площадь основания. Обозначив $\frac{M}{\varphi}$ через f, имеем из (27) окончательно:

$$f = \frac{G}{l}\int r^2\, ds. \qquad (28)$$

Для различных сечений значение интеграла в правой части (28) различно. Так, для круглого сечения радиуса R имеем, введя полярные координаты ω и r,

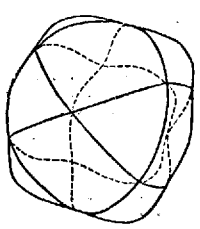
$$\int r^2\, ds = \int_{\omega=0}^{2\pi}\int_{r=0}^{R} r^2 \cdot r\, d\omega\, dr = \frac{\pi R^4}{2}.$$

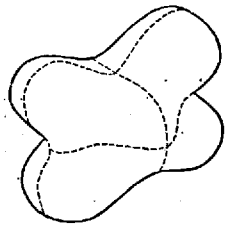
В этом случае имеем:

$$f = \frac{\pi G R^4}{2l}. \qquad (29)$$

Из сопоставления всех вышеприведенных определений для коэф-тов и М. явствует, что коэф. определяет всегда величину деформации, соответствующую напряжению, равному единице, а модуль определяет, наоборот, величину напряжения, которое способно вызвать деформацию, равную единице. Изотропные тела имеют два М., через которые все остальные М. могут быть выражены, напр. через K и G. Кристаллические, или анизотропные тела различных систем имеют, в зависимости от направления деформации по отношению к главным осям упругости (см. *Упругость*), непрерывно изменяющиеся по величине значения одного и того же М. Если отложить из какой-либо точки тела отрезки, пропорциональные модулю E для тех же направлений, то геометрич. место концов этих отрезков образует т. н. поверхность М. растяжения. По виду этих поверхностей кристаллы распадаются на 9 классов. На фиг. 5 и 6 представлены поверхности М. растяжения для плавикового шпата, принадлежащего к правильной системе, и для барита, принадлежащего к ромбич. системе.

В различных отделах математики термину «модуль» придается различный смысл. В математич. анализе М. называют чаще всего абсолютное или арифметич. значение какого-либо алгебраического числа или ф-ии. В векторном исчислении М. или абсолютной величиной вектора называется


Фиг. 5.


Фиг. 6.

числовое значение F данной векторной величины $\boldsymbol{F}$, так что вектор $\boldsymbol{F}$ равен модулю F, умноженному на соответствующий единичный вектор $\boldsymbol{F}^\circ$, т. е. $\boldsymbol{F} = F \cdot \boldsymbol{F}^\circ$ (см. *Векторное исчисление*). М. комплексного числа $a + bi$ называется выражение $\sqrt{a^2 + b^2} = \varrho$. Если данное комплексное число представить графически, отложив по оси абсцисс прямоугольной системы координат («ось дейст-

вительных чисел») отрезок, равный a, а по оси ординат («ось мнимых чисел») отрезок, равный b, то комплексное число будет представлено некоторою точкою M, расстояние к-рой до начала O осей координат очевидно и равняется М. комплексного числа. Угол φ, образованный прямою OM с осью X, называется амплитудою комплексного числа. Так как

$$a = \varrho \cos \varphi; \quad b = \varrho \sin \varphi, \qquad (30)$$

то

$$a + bi = \varrho (\cos \varphi + i \sin \varphi). \qquad (31)$$

Из вышесказанного следует: 1) М. комплексного числа есть всегда число положительное, за исключением того случая, когда $a=0$ и $b=0$; 2) М. суммы нескольких слагаемых комплексных чисел не более суммы М. слагаемых; 3) М. разности двух комплексных чисел не больше суммы М. уменьшаемого и вычитаемого и не меньше их разности. В теории чисел М. называется всякая совокупность чисел, обладающая тем свойством, что сумма или разность двух произвольных чисел совокупности принадлежит к той же совокупности. Нетрудно усмотреть, что всякий М.: 1) содержит число нуль, 2) содержит как положительные, так и отрицательные числа и 3) состоит из совокупности чисел, кратных наименьшего положительного числа М. Так напр., совокупность четных чисел ... −6, −4, −2, 0, +2, +4, +6, ... есть М. Равно совокупность всех целых чисел есть также М. Представителем М. очевидно является наименьшее положительное число из совокупности, и его для краткости можно назвать «модулем». Напр. «модуль 5» обозначает совокупность чисел ... −10, −5, 0, +5, +10, ... Если разность $a-b$ двух чисел a и b принадлежит к модулю m (другими словами, $a-b$ делится на m), то говорят «a сравнимо с b по модулю m» и выражают это так:

$$a \equiv b \,(\mathrm{mod.}\ m).$$

Понятие М. имеет для теории чисел фундаментальное значение (см. *Теория чисел*).

В теории р а с т в о р о в М. называются числа, характерные для каждого металла и к-ты, к-рые следует прибавить к числу 1,015, представляющему плотность $^1/_1 N$ NH_4Cl, чтобы получить плотность данного $^1/_1 N$. Эти М. суть следующие:

Для металлов:

K	0,030	Ba	0,073	Cd	0,061
Na	0,025	Mn	0,037	Pb	0,103
Ca	0,027	Fe	0,037	Ag	0,105
Mg	0,020	Zn	0,041		
Sr	0,055	Cu	0,042		

Для кислот:

HBr	0,034	HNO_3	0,015
HJ	0,064	HCO_3	0,014
H_2SO_4	0,020		

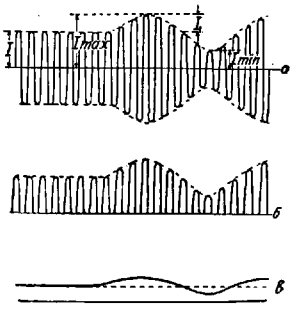
Так напр. плотность $^1/_1 N$ $Ca(NO_3)_2$ равна 1,015+0,027+0,015=1,057.

В машиностроении М.—величина $m = D:z$, где D—диам. начальной окружности зубчатого колеса в *мм*, а z—число его зубцов.

Лит.: Б о б ы л е в Д., Гидростатика и теория упругости, СПБ, 1886; Х в о л ь с о н О., Курс физики, т. 1, Берлин, 1923 (с обширной библиогр.); М л о д з е е в с к и й Б., Основы высшей алгебры, М.—П., 1923; Е г о р о в Д., Элементы теории чисел, М.—П., 1923; C l e b s c h A., Theorie d. Elastizität festen Körper, Lpz., 1862; G r a s h o f F., Theorie d. Elastizität u. Festigkeit, B., 1878; L a m é G., Leçon sur la théorie mathématique de l'elasticité des corps solides, Paris, 1890; M a t h i e u E., Théorie de l'élasticité des corps solides, Paris, 1890; N e u m a n n F., Vorlesungen über die Theorie d. Elastizität d. festen Körper u. Lichtäthers, Lpz., 1885; Y o u n g Th., Course of Lectures on Natural Philosophy, L., 1807; S a i n t-V e n a n t, Torsion des prismes, P., 1855; V o i g t W., Lehrbuch d. Kristallphisik, Lpz., 1928; H u m b e r t G., Cours d'Analyse professé à l'École polytechnique, v. 1—2, P., 1903—04. **М. Серебренников.**

МОДУЛЯЦИЯ, изменения тока высокой частоты при помощи *звуковой частоты* (см.), если этот ток применен для передачи каких-либо звуков, речи или музыки (радиотелефония). Ток высокой частоты, как всякие колебания, определяется двумя величинами: частотой и амплитудой, а следовательно и М. может быть двоякого рода: М. частотой и М. амплитудой (вопрос о фазе оставлен незатронутым, как не имеющий значения в настоящее время). М. частотой до сих пор применения почти не имеет, поэтому о ней будут даны сведения в конце статьи, в дальнейшем же под М. следует понимать М. амплитудой.

К о э ф и ц и е н т М. В силу сказанного выше М. есть изменение амплитуды электрич. колебаний высокой частоты. Эти колебания должны быть незатухающими, т. к. затухающие колебания, вследствие свойственных им амплитудных изменений, не могут дать чистой передачи звуков. После детектирования (см. *Детектор*, *Ламповый детектор*) незатухающие колебания дают в цепи нагрузки постоянный ток, изменение амплитуды незатухающих колебаний влечет за собой пропорциональное изменение силы постоянного тока (фиг. 1, где *а*—модулированные незатухающие колебания, *б*—ток в цепи детектора, *в*—ток в цепи нагрузки после сглаживания). Наибольшее возможное изменение амплитуды—от нуля до двойной величины—соответствует полному использованию колебаний для целей модуляции (фиг. 2). В этом случае $I_1 = I$, вообще же $I_1 < I$ и степень использования амплитуды колебаний определяется величиной к о э ф и ц и е н т а м о д у л я ц и и M:



Фиг. 1.

$$M = \frac{I_1}{I}. \qquad (1)$$

Т. к. максимальная амплитуда $I_{max} = I_1 + I$, а минимальная амплитуда $I_{min} = I - I_1$, то коэф. М. можно определить так:

$$M = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}. \qquad (2)$$

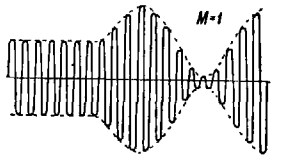
Последнее равенство является наиболее общим определением коэфициента М., так как оно применимо и в тех случаях, когда М. несимметрична, как показано например на фиг. 3. В случае симметричной модуляции ур-ие модулированного тока высокой частоты имеет нижеследующий вид:

$$i = I (1 + M \cos \Omega t) \sin \omega t, \qquad (3)$$

где Ω—угловая частота модулирующая, ω—

угловая частота высокая. Амплитуда колебаний меняется от $I(1-M)$ до $I(1+M)$. Очевидно, что в уравнении (3) в скобках может стоять $(1-M\cos\Omega t)$, $(1+M\sin\Omega t)$, $(1-M\sin\Omega t)$ вместо $(1+M\cos\Omega t)$ в зависимости от того, где находится начало координат.

Для осуществления М. можно воздействовать или непосредственно на цепи высокой частоты или на генератор, создающий колебания высокой частоты. В первом случае М. достигается двумя методами. Первый метод заключается в том, что модуляторное устройство в зависимости от действия микрофона отнимает б. или м. количество энергии. Этот способ М. носит название М. поглощением, или М. абсорбцией. Второй метод заключается в расстройке какого-нибудь контура при помощи модуляционного устройства и носит название М. расстройкой. Воздействие на ламповый генератор дает возможность получить М. также двояким путем. М. на аноде заключается в воздействии на анодную цепь лампового генератора, при М. на сетке оказывается воздействие на цепь сетки. М. поглощением (абсорбцией). Простейшая схема М. абсорбцией—включение микрофона M непосредственно в антенну—изображена на фиг. 4. При изменении сопротивления микрофона меняется амплитуда тока высокой частоты в антенне. Этот способ М. может быть применен при любой системе генератора высокой частоты, однако применяется сейчас лишь в любительских маломощных ламповых передатчиках. Недостатки этой схемы: 1) схема может работать только при малой мощности в антенне (через микрофон проходит ток высокой частоты, а обычный микрофон не дает возможности пропускать большую силу тока); 2) схема не дает возможности получить большой коэф. М. Действительно, если сопротивление антенны (без микрофона) равно R_A, а сопротивление микрофона меняется по закону



Фиг. 2.


Фиг. 3.

$$R_m = R_0 + R_1 \sin \Omega t,$$

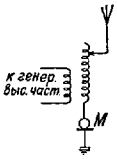
то сила тока в антенне меняется следующим образом:

$$I_A = \frac{E}{R_A+R_0+R_1\sin\Omega t} \cong \frac{E}{R_A+R_0}\left(1-\frac{R_1}{R_A+R_0}\sin\Omega t\right).$$

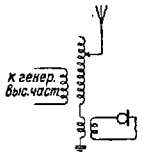
Следовательно коэфициент М.

$$M = \frac{R_1}{R_A+R_0}.$$

R_1 всегда меньше R_0, между тем R_0 приходится делать меньше R_A, т. к. иначе сопротивление антенны будет очень велико и излучаемая мощность будет мала. Т. о. коэф. М. получается меньше 50%. Для улучшения коэфициента М. более правильно связывать микрофон с антенной индуктивно (фиг. 5). В этом случае подбор сопротивления осуществляется легко. В виду того, что конструирование мощного микрофона, который мог бы пропускать большую силу тока, представляет значительные трудности (такие конструкции были в начале развития радиотелефонии), в качестве меняющегося сопротивления применяется вместо микрофона электронная лампа, на сетку которой действует микрофон. Анодная цепь лампы связана с антенной или с другим контуром высокой частоты. Примером применения электронной лампы, которая в этом случае носит название модуляторной, может служить схема, изображенная на фиг. 6. В случае необходимости можно применить дополнительное усиление низкой частоты между микрофоном и модуляторной лампой. Схемы М. абсорбцией нашли себе применение при передаче токами высокой частоты по проводам, где не требуется большой мощности генератора.

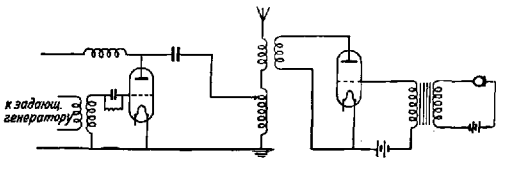


Фиг. 4.



Фиг. 5.

М. расстройкой применяется, так же как и М., поглощением, при воздействии непосредственно на цепи высокой частоты. Вследствие расстройки какого-либо контура сила тока в нем меняется и таким обр. получается М. Кроме того М. расстройкой очень часто получается при М. абсорбцией сама по себе, т. к. всякая нагрузочная цепь отчасти расстраивает контур. Исключительное значение М. расстройкой получает в машинных передатчиках (в передатчиках с машиной высокой частоты), где расстраивается цепь антенны или какого-либо промежуточного контура, настроенного на гармонику частоты тока машины. Обыкновенно такая расстройка достигается изменением самоиндукции контура, причем это изменение удобнее всего получается, если применена катушка самоиндукции с железным сердечником. Путем подмагничивания сердечника удается в широких пределах изменять самоиндукцию катушки. Изменение силы подмагничивающего тока происходит со звуковой частотой от микрофонного усилителя и создает М. Этот способ М. называется магнитной М. Необходимо при этом способе М. обращать внимание на то, чтобы не было обратного воздействия токов высокой частоты на подмагничивающую обмотку. Поэтому обмотку высокой частоты разделяют на две части, так чтобы эдс, наводимые этими частями, были сдвинуты по фазе на 180° (фиг. 7). Как при М. абсорбцией, так и при М. расстройкой трудно получить глубокую М. без искажений.



Фиг. 6.

При данном коэф-те М. M и данной максимальной мощности, развиваемой в антенне генератором W_A, можно определить мощ-

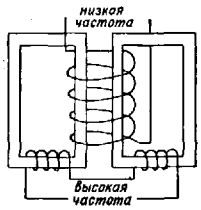
ность, получающуюся без М. (при молчании). Соотношение между силой тока в антенне без М. I_{AT} и силой тока в антенне при максимальной мощности I_A м. б. написано так:

$$I_A = I_{AT}(1 + M). \quad (4)$$

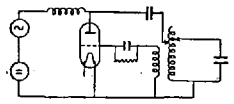
Соотношение между мощностями поэтому получается равным

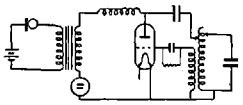
$$W_A = W_{AT}(1 + M)^2. \quad (5)$$

Величина W_{AT} является величиной, определяющей мощность радиотелефонной станции, и носит название телефонной мощности. W_A характеризует работу радиотелеграфной станции и называется телеграфной мощностью. Даже при небольших коэфициентах М. разница между телеграфной и телефонной мощностью очень велика. Так, 20-kW радиотелефонная станция при коэф-те М. с 50% должна иметь телеграфную мощность 45 kW. При нормальном телефонном режиме 25 kW, к-рые оказываются лишними, должны где-то теряться (в абсорбционном устройстве, в контуре), что показывает неудобство применения модуляции непосредственно в антенне при больших мощностях. Исключение представляет только магнитная М. при радиотелефонных передатчиках на машине высокой частоты, т. к. расстройка антенной цепи изменяет коэф-ты мощности нагрузочной цепи машины и потери не так велики. При ламповых же передатчиках большая потеря мощности делает применение указанных систем М. нерациональным. В ламповых передатчиках М. получается обычно воздействием на генераторный режим лампы. Этот режим при подобранном заранее контуре в анодной цепи характеризуется тремя величинами: постоянным напряжением на аноде E_a, постоянным (смещающим) напряжением на сетке E_g и переменным (высокочастотным) напряжением на сетке V_g (см. *Ламповый генератор*). Таким образом М. можно получить, если изменить одну из этих трех величин. Изменение напряжения на аноде E_a носит название М. на аноде, а изменение напряжений E_g или V_g носит название М. на сетке. Можно было бы получить еще М. воздействием на третью цепь, цепь накала, но тепловая инерция нити не дает возможности применить этот способ на практике.

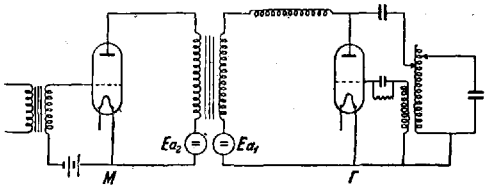


Фиг. 7.


Фиг. 8.


Фиг. 9.

М. на аноде заключается в изменении постоянного анодного напряжения E_a и м. б. получена простейшим образом по схеме, изображенной на фиг. 8. В качестве генератора переменного тока м. б. применен микрофонный трансформатор (фиг. 9). Изменение анодного напряжения влечет за собой пропорциональное изменение силы анодного тока, причем эта пропорциональность ясно выражена при самовозбуждении, когда напряжение на сетке меняется пропорционально силе тока в контуре, и лишь приблизительна в случае независимого возбуждения. Изменение силы анодного тока почти строго



Фиг. 10.

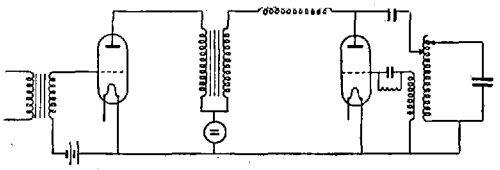
пропорционально изменению силы тока в антенне. Т. о. устанавливается пропорциональность между постоянным напряжением на аноде и силой тока в антенне. Для получения коэф-та М. M необходимо, чтобы амплитуда переменного напряжения звуковой частоты на аноде была равна

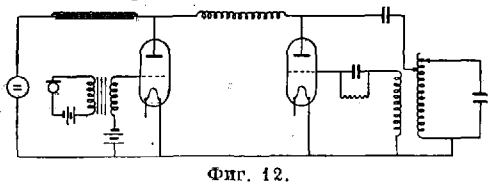
$$E'_a = ME_a. \quad (6)$$

Т. к. сила тока пропорциональна напряжению, то мощность, отдаваемая генератором переменного тока (напр. микрофонным трансформатором), равна

$$W_{пер.} = \frac{M^2}{2} W_0, \quad (7)$$

где W_0—энергия, отдаваемая источником тока. При большой мощности лампового генератора необходимо иметь мощный генератор звуковой частоты для получения достаточной глубины М. Т. к. мощности микрофона будет недостаточно, то необходимо применять предварительное усиление (фиг. 10). Последняя лампа усилителя, обозначенная на фиг. 10 буквой M, носит название модуляторной лампы и д. б. приблизительно равна по мощности генераторной лампе, обозначенной буквой $Г$. Вследствие этого источники тока E_{a1} и E_{a2} м. б. объединены, и схема М. получает вид, изображенный на фиг. 11. Замена трансформатора дросселем приводит к обычной схеме анодной М., изображенной на фиг. 12. Эта схема впервые предложена Хисингом и носит название схемы Хисинга с дросселем.


Фиг. 11.


Фиг. 12.

Объяснение процессов, происходящих при М., может быть дано двоякое. Первое толкование соответствует тому, что сказано ранее. Модуляторная лампа представляется в этом случае последней ступенью усилителя, работающего через автотрансформатор (дрос-

сель) на нагрузочное сопротивление, к-рым является генераторная лампа. Схема эта вполне аналогична нормальному усилителю на дросселях. Другое толкование заключается в том, что модуляторная лампа представляет собой сопротивление, меняющееся под действием напряжения звуковой частоты, подаваемого на сетку. Общий анодный ток от генератора постоянного тока изменяется очень мало в виду большой самоиндукции модуляционного дросселя. Изменение сопротивления модуляторной лампы перераспределяет ток, причем, если на сетку модуляторной лампы подано отрицательное напряжение, ток через нее уменьшается, на дросселе появляется напряжение, совпадающее по направлению с напряжением источника постоянного тока, и сила тока через генераторную лампу увеличивается; при положительном напряжении на сетку модуляторной лампы сила тока через генераторную лампу уменьшается, и т. о. достигается М. Оба эти толкования представляют собой изображение происходящих явлений с двух сторон и являются равноправными.

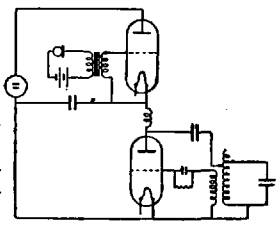
Расчет модуляционного дросселя основан на том, что его индуктивное сопротивление не д. б. меньше сопротивления постоянному току генераторной лампы. Эти сопротивления определяют активную и реактивную слагающую анодного тока модуляторной лампы, и в случае равенства этих сопротивлений сила анодного тока, идущего через модуляторную лампу, лишь в 1,41 раза больше полезного тока, идущего в генераторную лампу. Уменьшение индуктивного сопротивления дросселя влечет за собой увеличение реактивной слагающей силы тока через модуляторную лампу, вызывающей излишнее нагревание ее анода. Итак, определив сопротивление постоянному току генераторной лампы

$$R_0 = \frac{E_a}{I_0},$$

где I_0—постоянная составляющая анодного тока, находим нормальное значение коэф-та самоиндукции модуляционного дросселя:

$$L = \frac{R_0}{\Omega},$$

где Ω—наименьшая из передаваемых звуковых угловых частот. Большое увеличение L не дает никакого улучшения и лишь увеличивает омич. сопротивление и емкость дросселя, что может повести к нежелательным результатам (падение напряжения, резонансные свойства и т. д.). При конструировании дросселя приходится обращать особое внимание на то обстоятельство, что дроссель подвергается большому подмагничиванию постоянным током. Для того чтобы избежать вызываемого таким подмагничиванием уменьшения самоиндукции, сердечник дросселя делают разомкнутым. Наилучшим средством для борьбы с подмагничиванием служит схема, изображенная на фиг. 11. Обмотки модуляционного трансформатора наматываются так, чтобы подмагничивающие токи обеих обмоток друг друга компенсировали. Из остальных деталей схемы необходимо отметить дроссель высокой частоты, коэф. самоиндукции к-рого д. б. выбран так, чтобы ΩL для самой высокой из звуковых частот было мало по сравнению с сопротивлением генераторной лампы R_0 и в то же время чтобы ωL было велико по сравнению с эквивалентным сопротивлением контура Z. Точно так же емкость блокировочного конденсатора выбирается т. о., чтобы $\frac{1}{\omega C}$ было мало по сравнению с Z, но $\frac{1}{\Omega C}$ было велико по сравнению с R_0. Так как модуляторная лампа является мощным усилителем, то ее можно заставить работать двояким образом. Можно в качестве предварительного условия поставить частоту усиления, а следовательно требование работы модуляторной лампы на прямолинейной части характеристики (усиление 1-го рода). В этом случае необходимо модуляторные лампы рассчитывать на рассеяние на аноде, к-рое получится, когда лампы не будут отдавать мощности,—при молчании. Мощность модуляторных ламп получается в 3—4 раза больше мощности генераторных ламп, если задана 100%-ная М. Действительно модуляторные лампы согласно ур-ию (7) должны отдавать мощность, равную половине мощности подводимой к генераторным лампам, но при колебаниях первого рода кпд их не м. б. больше 50%. В силу этого мощности, подводимые к модуляторным и к генераторным лампам, приблизительно одинаковы. Однако в генераторных лампах лишь от 20 до 35% мощности рассеивается на анодах (считая кпд от 65 до 80%), в модуляторных же лампах при молчании рассеивается вся мощность, следовательно количество модуляторных ламп д. б. значительно больше, чем генераторных. Отказываясь от идеальной чистоты передачи, можно уменьшить количество модуляторных ламп. Для этого необходимо понизить рабочую точку и работать лучше всего около нижнего сгиба характеристики (усиление 2-го рода). Тогда при молчании ток, проходящий через модуляторные лампы, ничтожен и поэтому мала мощность, рассеиваемая на аноде. При М. модуляторные лампы работают примерно с тем же кпд, что и генераторные лампы, и число ламп в модуляторе и в генераторе обычно выбирается одинаковое. Модуляторные лампы можно брать того же типа, что и генераторные, однако лучший результат получается с лампами, которые имеют левые характеристики (малый коэфициент усиления).



Фиг. 13.

Кроме схемы анодной М. с дросселем, которая называется иначе параллельной схемой анодной М., существует также схема последовательная, в к-рой источник постоянного тока—генераторная и модуляторная лампы включены последовательно (фиг. 13). Изменение сопротивления модуляторной лампы влечет за собой перераспределение напряжений между генераторной и модуляторной лампой. Если на сетку модуляторной лампы подается отрицательное напряжение,

то сопротивление лампы увеличивается, на ней падает бо́льшая часть напряжения, и ток через обе лампы уменьшается; при положительном напряжении на сетке модуляторной лампы бо́льшая часть напряжения падает на генераторной лампе, и ток увеличивается. Можно схему рассматривать иначе: модуляторная лампа работает как усилитель на сопротивлениях, причем нагрузочным сопротивлением является генераторная лампа. Схема последовательная имеет два существенных недостатка: прежде всего для ее питания необходим источник постоянного тока с напряжением, равным приблизительно двойному анодному напряжению генераторной лампы. При высоких анодных напряжениях современных ламп применение такого источника постоянного тока является неудобным. Затем, цепь накала одной из ламп обязательно находится под высоким напряжением. Изоляция цепи накала практически представляет большое неудобство. По этим двум причинам последовательная схема М. на аноде почти не применяется, в то время как параллельная схема нашла себе широкое применение. Эта схема особенно удобна при небольших передатчиках, работающих с самовозбуждением. Несколько хуже работает эта схема в мощных передатчиках с независимым возбуждением, однако она нашла себе применение в ряде станций в СССР, Англии, Франции и США. Телефонной мощностью при этой схеме необходимо считать полную мощность генератора, т. к. при М. максимальная мощность зависит от того, что генератор работает в определенные моменты при сильно повышенном анодном напряжении. Т. о. мощность радиотелефонной станции при М. на аноде определяется ее генераторными лампами. При коротких волнах эту схему М. следует применять осторожно, т. к. повышенное анодное напряжение, даже мгновенное, часто приводит при коротких волнах к разрушению лампы. В общем же параллельная схема анодной М. по праву считается одной из лучших схем М.

М. на се́тке применяется в двух разновидностях. Если подвергается изменению постоянное напряжение на сетке (смещающее напряжение) E_g, то имеет место М. первого класса; если же меняется амплитуда напряжения высокой частоты V_g, то способ М. относится ко второму классу. Как видно будет дальше, можно изменять одновременно и E_g и V_g, М. получается тогда смешанная. Отличие М. на сетке от М. на аноде заключается в том, что модулирующее устройство не добавляет энергии в цепь питания анода, а лишь воздействует на его цепь сетки. Поэтому, если генератор может отдавать в антенну телеграфную мощность W_A, то телефонная мощность W_{AT} согласно уравнению (5) в $(1+M)^2$ раз меньше. Сила анодного тока в телефонном режиме, т. е. без М., в $1+M$ раз меньше силы анодного тока при телеграфном режиме, причем это относится как к постоянной слагающей, так и к слагающей основной частоты анодного тока:

$$\left.\begin{aligned} I_{T_1} &= \frac{I_1}{1+M} \\ I_{T_0} &= \frac{I_0}{1+M} \end{aligned}\right\}. \qquad (8)$$

Т. к. эквивалентное сопротивление анодного контура Z остается постоянным, то переменное напряжение на аноде меняется пропорционально слагающей основной частоты анодного тока, а следовательно

$$V_a = V_{aT}(1+M).$$

Постоянное анодное напряжение E_a не меняется, и следовательно должен меняться коэф-т использования напряжения ξ, равный отношению амплитуды переменного напряжения на аноде к постоянному анодному напряжению E_a (см. *Ламповые генераторы*):

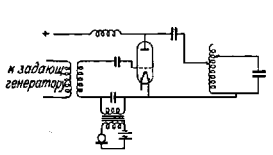
$$\frac{V_a}{E_a} = \xi = \xi_T(1+M).$$

Коэф. полного действия генератора пропорционален ξ и потому

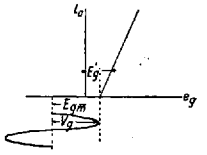
$$\eta = \eta_T(1+M). \qquad (9)$$

Т. о., если генератор в телеграфном режиме может работать при кпд, равном 70%, то в телефонном режиме кпд будет значительно меньше. При расчете на 100%-ную М. ($M=1$) кпд в телефонном режиме равен всего 35%. Этим передатчики с М. на сетке резко отличаются от передатчиков с М. на аноде. В последних генераторные лампы работают при максимальном кпд, зато модуляторные лампы при молчании не используются совершенно; при М. на сетке используются все лампы, но с малым кпд. Для работы без искажений при 100% М. число генераторных ламп в передатчиках с М. на сетке примерно в 4 раза больше, чем этого требует номинальная мощность станции. Так, для радиостанции в 20 kW надо применить 4 лампы по 20 kW. Это объясняется низким кпд при телефонном режиме и благодаря этому большим рассеянием мощности на анодах ламп. Т. к. при М. на аноде, как указывалось выше, потребовалась бы одна 20-kW лампа в качестве генераторной и 3 таких лампы в качестве модуляторных, т. е. тоже 4 лампы, то, как видно из этого примера, схемы М. на аноде и на сетке по мощности и числу ламп эквивалентны. Схемы М. на сетке имеют то преимущество, что лампы не подвергаются режиму с преувеличенным анодным напряжением, однако имеют тот недостаток, что требуют параллельного включения большого числа генераторных ламп.

М. смещающим напряжением. Для того чтобы изменять смещающее напряжение, необходимо в цепь сетки включить генератор переменного тока низкой частоты. Если частота будет достаточно малой, чтобы в течение нескольких периодов высокой частоты изменение напряжения было мало, то для генераторной лампы действие этого источника переменного тока эквивалентно изменению смещения. В качестве генератора переменного тока низкой частоты м. б. применен микрофонный трансформатор (фиг. 14).



Фиг. 14.



Фиг. 15.

Конденсатор параллельно вторичной обмотке трансформатора служит для пропускания тока высокой частоты и должен представлять собой большое сопротивление для токов низкой частоты. Если мощность генератора велика, то для полной М. мощности микрофона может нехватить. В этом случае применяют усиление низкой частоты, и место микрофонного трансформатора занимает выходной трансформатор усилителя. Эта схема являющаяся самой простой из схем М. на сетке смещающим напряжением, дает хорошие результаты и применяется нередко на практике. Трудность заключается лишь в правильном выборе и конструкции выходного трансформатора усилителя. Расчет такой схемы м. б. произведен следующим образом. Наибольшая величина постоянного напряжения на сетке E_{gm} определяется телеграфным режимом генератора. Нижний предел постоянного напряжения на сетке будет очевидно тогда, когда сила анодного тока станет равной нулю. Как видно из фиг. 15, это будет тогда, когда напряжение

$$E_{gm} = -V_g + E'_g,$$

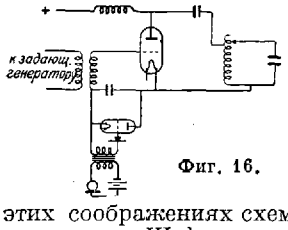
где V_g—амплитуда переменного напряжения на сетке высокой частоты, а E'_g—то напряжение, при котором прямолинейная характеристика лампы пересекает ось абсцисс. На фиг. 15 изображена идеальная прямолинейная характеристика лампы (нижняя часть действительной характеристики изображена пунктиром). Колебания напряжения от E_{gM} до E_{gm} соответствуют 100% М., так как амплитуда анодного и антенного тока колеблется от нуля до максимальной величины, получающейся при телеграфном режиме. Если расчетный коэф. М. меньше 100% ($M < 1$), то наименьшее постоянное напряжение на сетке

$$E'_{gm} = \frac{1}{1+M}\left[2ME_{gm} + E_{qM}(1-M)\right].$$

Телефонный режим получается при смещающем напряжении

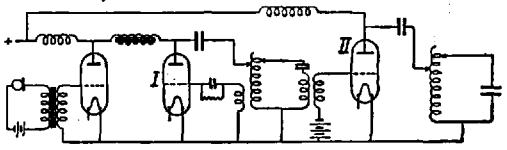
$$E_{gT} = \frac{E_{gM} + E'_{gm}}{2} = \frac{E_{gM} + ME_{gm}}{1+M}.$$

Указанная выше схема М. смещением не является единственной. Так как смещающее напряжение на сетке может быть получено с помощью гридлика (утечки сетки), то, изменяя сопротивление гридлика, можно изменять и напряжение и модулировать колебания, даваемые лампой. Основанная на этих соображениях схема М. была впервые предложена Шефером, а затем и целым рядом других ученых и известна под названием М. гридликом (фиг. 16). В качестве гридлика применяется электронная лампа, сопротивление к-рой меняется под влиянием напряжения звуковой частоты, подаваемой на сетку. М. по схеме Шефера имеет весьма широкое распространение и наряду со схемой Хисинга считается одной из лучших схем модулирования. Кроме указанных выше существует еще целый ряд схем, почти не имеющих однако применения.



Фиг. 16.

М. амплитудой переменной слагающей напряжения на сетке. Наиболее яркой представительницей этих схем является схема, изображенная на фиг. 17. Возбудитель I в этой схеме модулирован, причем применена М. на аноде (понятно, можно было применить и М. на сетке, напр. смещающим напряжением). Модулированные колебания подаются на сетку мощного каскада II, который их усиливает. Для лампового генератора II М. происходит на сетке, причем смещающее напряжение E_g остается постоянным, меняется



Фиг. 17.

амплитуда переменной слагающей напряжения на сетке V_g. Схема эта носит название М. в предыдущем каскаде. Кроме этой схемы существует ряд других, которые основаны на изменении амплитуды переменного напряжения V_g, путем воздействия на цепи высокой частоты. Большого применения эти схемы не получили. Для того чтобы получить усиление без искажений М., необходимо работать или на прямолинейной части характеристики, что невыгодно с точки зрения энергетической в виду малого кпд, или стать на нижний сгиб характеристики. Действительно, согласно ур-ию Валлаури (см. *Ламповые генераторы*)

$$V_g = -DV_a + \frac{I}{S}$$

и кроме того

$$-V_a = I_1 Z,$$

где I_1—амплитуда силы тока основной частоты в анодной цепи, I — амплитуда, к-рая была бы, если бы лампа одинаково проводила ток в обе стороны, Z—эквивалентное сопротивление контура. Т. о.

$$V_g = I_1 D Z + \frac{I}{S}.$$

Неискаженная М. получается при пропорциональности V_g и I_1. Так как S, D, Z— постоянные величины, то неискаженная М. может получиться лишь в том случае, если I_1 пропорционально I, но

$$I_1 = I\frac{\theta - \sin\theta\cos\theta}{\pi},$$

где θ—угол отсечки анодного тока. Требование пропорциональности I и I_1 м. б. удовлетворено только при условии постоянства угла θ:

$$\theta = \text{Const.}$$

Так как смещающее напряжение остается постоянным, то не меняется и ток покоя

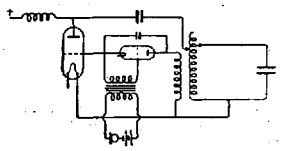
$$I_n = I\cos\theta = S(E_g - E'_g).$$

Итак, ток покоя I_n постоянен, I меняется; поэтому очевидно, что θ не м. б. постоянной величиной, если $\cos\theta \neq 0$. Т. о.

$$\theta = \frac{\pi}{2},$$

а значит при М. амплитудой переменного напряжения на сетке необходимо работать

на нижнем сгибе характеристики. Обычно такой режим и подбирается. Понятно, что небольшие колебания в ту или другую сторону допустимы, причем обычно дается несколько большее смещение и угол θ около 80° для того, чтобы получить несколько больший кпд при незначительном искажении. Модуляц я на сетке применялась также при генераторах с самовозбуждением (фиг. 18). В этом случае получается одновременное изменение E_g и V_g, т. к. первое зависит от второго. М. получается небольшая, при настройке на хороший кпд получаются срывы. М. на сетке при генераторах с самовозбуждением хотя и может применяться, но дает худшие результаты, чем при работе с независимым генератором.



Фиг. 18.

Несущая и боковые частоты. При работе с настроенными контурами всякие несинусоидальные колебания удобнее разлагать на ряд синусоидальных колебаний, т. к. в этом случае легко применяются обычные ф-лы переменного тока. Модулированные незатухающие колебания для рассмотрения процессов, происходящих в цепях передатчика и приемника, и при распространении энергии в какой-либо среде приходится также разбивать на ряд гармонич. колебаний. В этом смысле ур-ие (3) для модулированных колебаний м. б. выражено так:

$$i = I(1 + M\cos\Omega t)\sin\omega t = I\sin\omega t + \\ + \frac{IM}{2}\sin(\omega+\Omega)t + \frac{IM}{2}\sin(\omega-\Omega)t. \quad (10)$$

При отсутствии М. существует только первый член, к-рый носит название несущей частоты, или несущей волны. При М. прибавляются два других члена, к-рые носят название *боковых частот* (см.). Если М. производится не одной частотой, а полосой частот, то появляются полосы боковых частот:

$$i = I\Big(1 + \sum M_i\cos\Omega_i t\Big)\sin\omega t = I\sin\omega t + \\ + \sum\frac{IM_i}{2}\sin(\omega+\Omega_i)t + \sum\frac{IM_i}{2}\sin(\omega-\Omega_i)t.$$

Т. о. полоса частот, занимаемая радиотелефонной станцией, в два раза больше самой высокой из звуковых частот, которые надо передать. Для концертной радиотелефонии желательно передавать частоты до 10 000 пер/сек. Полоса частот концертного радиотелефонного передатчика должна была бы быть равной 20 кц. В действительности благодаря взаимным помехам радиовещательных станций приходится полосы частот, отдаваемые в распоряжение каждой станции, сильно сокращать. Главная часть энергии, отдаваемой передатчиком, идет на создание несущей частоты; на долю боковых частот приходится лишь незначительная часть. Действительно, соответствующие величины мощности несущей и боковых частот равны:

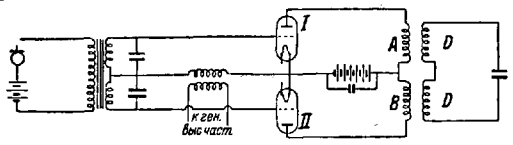
$$W_{н.ч.} = \frac{I^2R}{2};\ W_{б.ч.} = \frac{I^2R}{8}M^2 + \frac{I^2R}{8}M^2 = \frac{I^2R}{4}M^2.$$

Часть, к-рую берет на себя несущая частота, равна

$$\frac{W_{н.ч.}}{W} = \frac{2}{2+M^2}.$$

Т. о. даже при 100%-ной М. несущая частота отнимает $^2/_3$ всей мощности, а на каждую из боковых частот приходится лишь по $^1/_6$. При M=0,5 на долю несущей частоты приходится 89% всей мощности. Между тем несомненно лишь боковые частоты являются полезными, так как они переносят отражение звуков, переданных микрофоном. Ток несущей частоты в приемнике служит лишь для получения биений с токами боковых частот, чтобы в результате получились передаваемые звуковые частоты.

Передача без несущей частоты. Указанные выше соотношения мощностей несущей частоты и боковых частот привели к мысли обойтись без излучения несущей частоты, создавая ее при помощи гетеродина в приемнике. Уничтожение несущей частоты м. б. произведено несколькими способами. Наиболее употребительным является метод балансной М., предложенный впервые Карсоном (фиг. 19). Генератор высокой частоты подает напряжение на лампы *I* и *II* в фазе, звуковая же частота подается на лампу *II* сдвинутой по сравнению с *I* на 180°. Поэтому несущие частоты в анодных цепях ламп *A* и *B* находятся в фазе, а боковые частоты сдвинуты на 180°. Во вторичной обмотке трансформатора анодной



Фиг. 19.

цепи *Д* эдс несущей частоты уничтожатся, а боковых частот сложатся, и получается т. о. передача 2 боковыми частотами. Т. к. по существу дела необходимой является лишь одна из боковых частот, то часто вторую боковую частоту отфильтровывают и производят передачу одной боковой частотой. Для отфильтрования одной из боковых полос применяют иногда двойную балансную М., раздвигая боковые частоты сначала при помощи промежуточной частоты, а затем, отфильтровав одну боковую частоту, модулируют высокую частоту. Схемы передач без несущей частоты имеют большое преимущество, т. к. при мощных передатчиках сберегают значительное количество энергии, а затем создают меньшие помехи другим станциям. Недостатком их является сложность, а кроме того невозможность приема на приемник без регенерации или без гетеродина. Благодаря последней причине передатчики без несущей частоты не применяются для целей радиовещания.

М. частотой имеет место тогда, когда ур-ие силы тока м. б. выражено след. обр.:

$$i = I\sin(\omega t + \Delta\omega\sin\Omega t).$$

В этом ур-ии фаза для простоты опущена. Как указано впервые Карсоном, М. частотой, так же как и М. амплитудой, дает несущую частоту и полосы боковых частот,

причем последние не будут уже, чем при М. амплитудой. Т. о. то преимущество, которое можно было ожидать от М. частотой—сужение пучка частот, оказалось несуществующим. Прием при М. частотой происходит благодаря резонансным свойствам приемника и на практике встречает большие затруднения. Поэтому М. частотой, несмотря на проявленный и проявляемый к ней большой интерес, не получила до настоящего времени применения в радиотехнике.

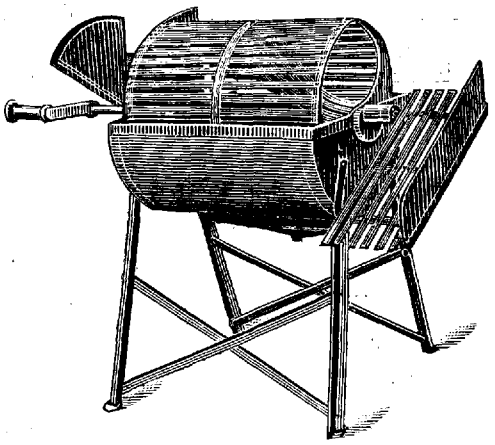
Лит.: Бонч-Бруевич М. А., «Радиотехник», Н.-Новгород, 1920, *11*; Испытание радиотелефона системы А. Т. Углова, там же, 1921, *14*; Бонч-Бруевич М. А., «ТиТбП», 1921, *11*, 1923, *3*, (*20*); Григорьева А. А., там же, 1924, *3* (*25*), 1927, *4* (*43*), *6* (*45*); Минц А. Л., там же, 1924 (*3*), *25*, 1925, (*3*), *30*, 1926, *3* (*36*); Кляцкин И. Г. и Минц А. Л., там же, 1927, *3* (*42*), 1929, *1* (*52*), *4* (*55*); Шмаков П. В., там же, 1927, *1* (*40*); Смирнов Н. Д., там же, 1928, *4* (*49*); Meissner A., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1919, B. 14, H. 5; Rukop H., «Telefunken-Ztg», B., 1923—24, B. 7, *31—35*; Culver C. A., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1923, v. 11, p. 479; Forest L., «Rad. Revue», P., 1919, *1*, p. 153; Heising R. A., «Proc. of the Inst. of Radio Eng.», N. Y., 1921, v. 9, p. 305; Kühn L., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1923, B. 18, p. 406; Carson J. K., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1919, v. 7, p. 187; Colpitts E. H. a. Blackwell O. B., «Trans. Amer. Inst. of Electr. Eng.», New York, 1921, v. 40, p. 285; Hartley R. V. L., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1923, v. 11, p. 34; Joos G. u. Zennek J., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1923, B. 22, p. 93; Mauz E. u. Zennek J., ibid., 1922, B. 19, p. 256; Muth H., «Telefunken-Ztg», B., 1924, B. 6, *34*, p. 27; Arnold H. D. and Espenschied L., «JAIEE», 1923, p. 815; Pungs L., «Elektrische Nachrichten Technik», Berlin, 1925, *2*, p. 93; Feigs A., ibid., 1925, *2*, p. 96; Schäffer W., «Telefunken-Ztg», B., 1922, *26/27*, p. 7, *28*, p. 44; Lubzynski G., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1926, B. 27, H. 2, p. 33; Heising R. A., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», New York, 1920, Febr.—Apr.; Purrington, «Scient. Pap. Bur. of Stand.», Wsh., *423*; Carson J. R., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1922, v. 10, *1*, p. 57; David M., «L'onde électrique», P., 1923, Oct., p. 579; Walker H. S., «Exper. Wireless a. Wireless Engineer», L., 1924, Aug., p. 643; Striegel R., «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1927, B. 29, Jan., p. 10; Macdonald W. A., «Radio Review», N. Y., 1921, v. 11, *8*, p. 409; Heising R. A., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», N. Y., 1925, June, p. 291; Oswald A. und Schelleng J., ibid., p. 313; Pocock L. C., «Electrician», L., 1921, v. 86, p. 246; Alexanderson E. F. W., «Proc. of the Inst. of Rad. Eng.», 1920, Aug., p. 263; Carson J. R., ibid., 1921, June, p. 243; Weinberger J., ibid., 1924, Dec., p. 748; Little D. G. a. Davis R. L., ibid., 1926, Aug., p. 479; Van der Pol Balth, ibid., 1930, July, p. 1194; Eckersley T. L., «Experimental Wireless and Wireless Engineer», London, 1930, Sept., v. 7, *84*. **И. Кляцкин.**

МОЕЧНЫЕ МАШИНЫ, в сельском хозяйстве, машины, предназначенные для очистки корнеплодов и клубнеплодов от приставшей к ним земли и грязи, т. к. загрязненный корм вызывает желудочные заболевания. Наиболее распространенной М. м. является цилиндрическая мойка (фиг. 1), к-рая состоит из решетчатого цилиндра, погруженного в корыто, наполненное водой; клубнеплоды или корнеплоды насыпают в ковш, через к-рый они и попадают внутрь цилиндра. При вращении цилиндра в одну сторону клубни перекатываясь обмываются в воде; при вращении в другую сторону они захватываются особыми черпаками, находящимися внутри цилиндра, и выбрасываются наружу в желоб. Корыто для воды подвешено и периодически опрокидывается для опоражнивания. Мойка с цилиндром длиной в 1 300 *мм* и диаметром в 560 *мм* имеет производительность от 400 до 1 300 *кг/ч*. **Б. Крильч.**

М. м. в текстильном производстве—см. *Шерсть*.

М. м. для мойки кухонной посуды—см. *Кухня-фабрика*.

М. м. для зерна. Обычным способом очистки зерна, путем шелушения его на обоечных (наждачных) машинах (см.

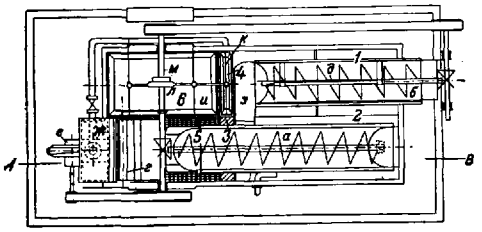


Фиг. 1.

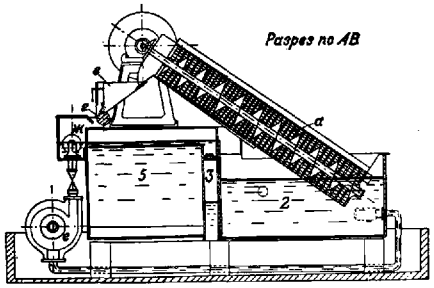
Обойка), не удается вычистить пыли и грязи, глубоко залегающей в бороздке зерна. В этом отношении бессильны и щеточные машины для зерна. Особенно трудно очищается зерно, зараженное *головнею* (см.). Такое зерно лучше всего очищать при помощи М. м. При обычной сухой очистке головня раздавливается и пачкает здоровые зерна, проникая в недоступную для очистки бороздку зерна. Головня (з о н а), мало отличаясь по уд. в. от здорового зерна, трудно отделяется в е т р а м и на сепараторах. Лучше всего зерно, зараженное головней, очищается мокрым путем при помощи мойки. Перед мойкой зерно пропускают через бичевую машину (обойку с сетчатым барабаном), для разбивки головни. Хотя при этом пачкается здоровое зерно, но мойка легко отмывает грязь и черноту, при этом есть уверенность, что зона не пройдет через М. м. нераздавленной и не испачкает зерно в отжимной колонке после мойки. Мойку зерна впервые применили и усовершенствовали в Англии. Толчок этому дало то обстоятельство, что из-за выгоды во фрахте англичане привозили зерно в трюмах угольщиков на возвратном их пути в Англию. Зерно приходило частично запачканным угольной пылью, что и вызвало необходимость в его промывке.

В 1900-х гг. в СССР получила распространение М. м. Симона, к-рая состоит (фиг. 2, А и Б) из приемного винта *а* и выводящего *б*, установленных в чугунном бассейне с 6 отделениями, попарно соединенными между собою. Зерно поступает в нижнюю часть винта *а*, погруженную в отделение *1* с отходящей грязной водой. Смоченное зерно поднимается винтом в ковш с питательным валиком *г* и выпускается в отделение *5*. Чистая вода подается по трубе *д*, в винт *б*, который

отводит промытое зерно из М. м. Сквозь сетчатое корыто винта вода поступает в отделение *2*, откуда насосом *е* подается с дав-

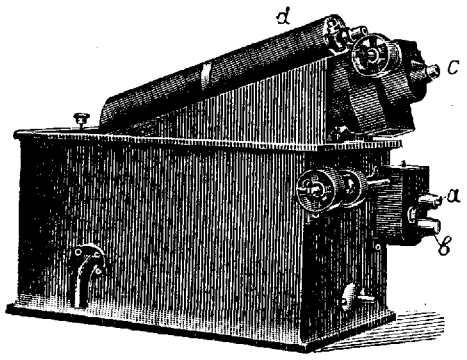


Фиг. 2 А.



Фиг. 2 Б.

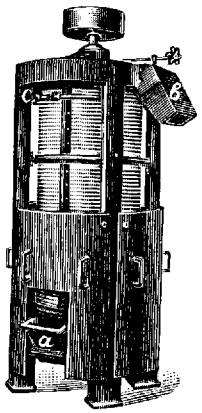
лением в отделение *4*, отдавая часть воды по пути в камере *жс*. Вода из камеры *жс* подхватывает зерно из-под валика *г* и увлекает его над ситом по отделению *5* над камерой *3* в раструб *з* и в отводящий винт *б*. В камерах *6* и *4* погружены поршни *м* и *к*, приводимые в качание эксцентриком *л* вала *о*. Движение поршней волнует воду в соседних камерах *5* и *3*, к-рая в с п о л а с к и в а е т зерно во время прохождения его над сетками этих камер. В камере *5* зерно передвигается непосредственно по сетке, в камере же *3* сетка расположена значительно ниже, однако в это углубление зерно попасть не может, т. к. вода, подаваемая в соседнюю камеру *4*, под давлением насоса *е* выбрасывает зерно в лоток *з*; на сетку же падают и собираются камни и тяжелые металлические примеси, если они имеются в



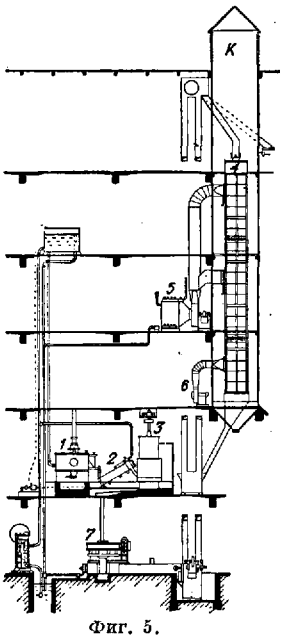
Фиг. 3.

зерне. Таким образом М. м. выполняет назначение к а м н е о т б о р н и к а, что очень важно для районов, где в зерне имеется примесь камешков (гальки).

Так как собственно надобности в энергичном полоскании зерна не имеется, то М. м. значительно упростили. Упрощенная М. м. (система Симона) состоит из чугунного бака с двумя горизонтальными винтами внутри его, одного *а* для мойки зерна и другого *b* для отвода камней, и 3-го наклонного винта *с* с вспрыскивающим приспособлением *d* для вывода промытого зерна из машины (фиг. 3). Зерно находится в воде в среднем 30—40 ск. Время пребывания зерна в воде в зависимости от его твердости и влажности регулируется уровнем воды в бассейне и проч. Из М. м. зерно поступает в центрифугальную отжимную колонку (фиг. 4), представляющую собою вертикальный барабан со спирально расположенными бичами, бросающими зерно на цилиндрич. сетку из оцинкованных пробивных листов. Зерно поступает в нижнюю часть колонки *а* и выводится из верхней ее части *b*. Действием центробежной силы зерно, при движении внутри цилиндрич. сетки по спирали вверх, выделяет воду. Нижняя часть колонки одета сплошным (отъемным) кожухом для улавливания выбрызгиваемой грязной воды. В верхней части сетки вода уже не выбрызгивает. Здесь имеется приспособление *с* для промывки ее водой под давлением. М. м. и колонка монтируются в общей бетонной ванне, откуда грязная вода выводится через трубу наружу. Действие отжимной колонки, помимо ее прямого назначения—выделения воды с покровов зерна, одновременно сопровождается сдиранием верхних оболочек зерна, удаляемых из ванны вместе с грязной водой. Во избежание потерь этих оболочек ставится машина, в верхней части к-рой сито отцеживает грязную воду, мокрые отходы отжимаются двумя конич. винтами и поступают в винт с обогреваемым паром кожухом, откуда выходят сухие оболочки зерна и отходы мойки. Фиг. 5 изображает моечную группу, где *1*—мойка, *2*—вспрыскивающий винт, *3*—центрифуг. колонка, *4*—воздушная колонка, *5*—вентилятор с паровым калорифером, *6*—вентилятор



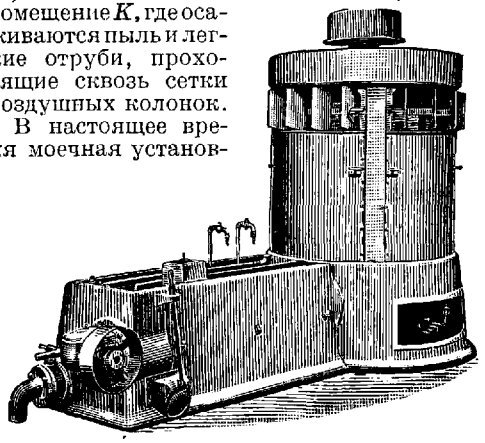
Фиг. 4.



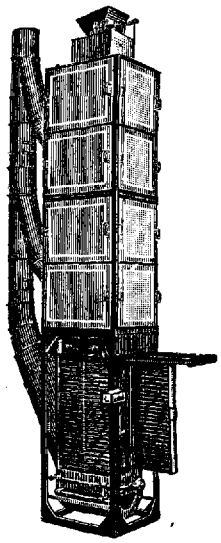
Фиг. 5.

(холодн.), 7—аппарат для утилизации отходов мойки (мелкие зерна, оболочки зерна). Колонки поставлены в изолированное помещение *K*, где осаживаются пыль и легкие отруби, проходящие сквозь сетки воздушных колонок.

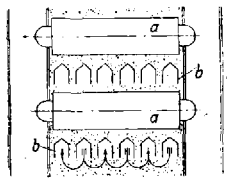
В настоящее время моечная установка сводится к двум машинам—мойке и центрифуге (сист. Бюллер) и даже к одному цельному агрегату этих машин (сист. Miag, фиг. 6). Расход воды на 1 *m* промытого зерна при применении возврата отработанной (с отстоем) воды 700—900 *л* и 2 000—2 250 *л* при работе свежей водой. Расход пара в сушильных колонках 50 *кг* на 1 *m*. Вместо сушильных колонок с нагнетателем теплого и холодного воздуха ставится кондиционер. Фиг. 7 представляет собою кондиционер (модели VCA завода Бюллер). Верхняя секция содержит три ряда радиаторов водяного отопления, к-рые омываются движущимся вниз зерном. От действия этой секции зерно нагревается в насыщенной паром атмосфере, что способствует химич. процессам, аналогичным происходящим при отлежке зерна. В следующих секциях зерно подвергается одновременно нагреванию от таких же радиаторов и просушиванию воздухом, проходящим серией жестяных крыше-



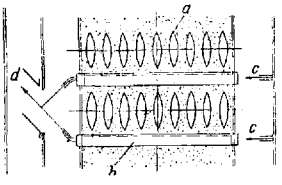
Фиг. 6.



Фиг. 7.

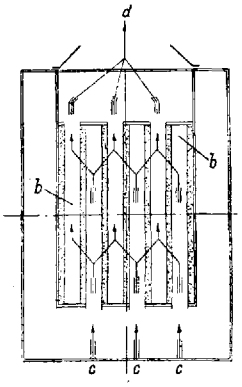


Фиг. 8.

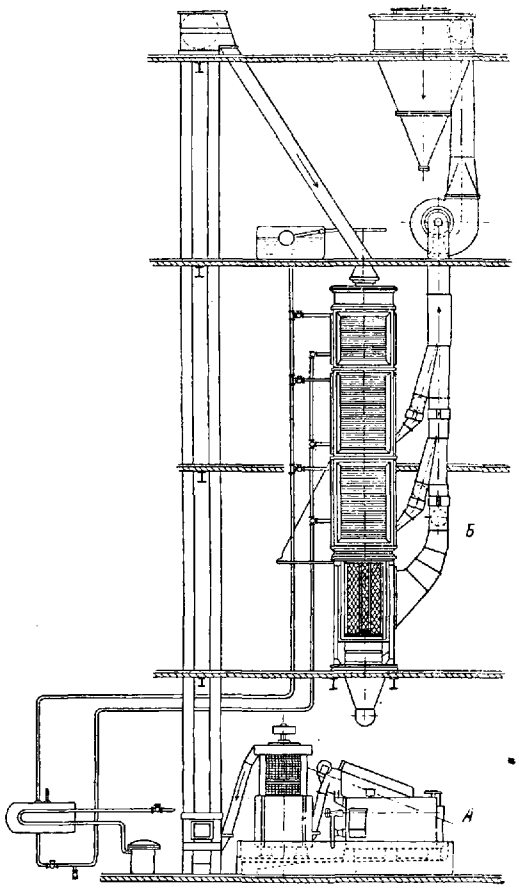


Фиг. 9.

образных каналов. Фиг. 8 дает вертикальный разрез кондиционера вдоль радиаторов *a* и поперек воздушных каналов *b*. Фиг. 9—поперечный разрез радиаторов *a* и вдоль каналов *b*. Фиг. 10 дает горизонтальный разрез по каналам *b*, закрытым с одной стороны в шахматном порядке. Стрелки показывают движение воздуха *c*, входящего из пространства между кожухом и кондиционером в каналы *b*, проходящего из одних каналов в соседние через толщу зерна, что видно на фиг. 8 и 10 и выходящего стрелками *d* по всасывающим трубам к эксгаустеру и циклону. Установку М. м. и кондиционера см. фиг. 11, где *А*—мойка и *Б*—кондиционер. Воздух уносит влагу из зерна и сушит его. В нижней секции радиаторы отсутствуют, и воздух в одно время сушит и охлаждает зерно, выходящее из кондиционера подготовленным для дальнейшей уже сухой очистки на обой-



Фиг. 10.



Фиг. 11.

ках и щеточных машинах. После кондиционера зерно отлеживается не более 6—12 час. (или вовсе не нуждается в отлежке).

Лит.: см. *Мукомольные мельницы*. **Л. Розенштейн.**

5) М. м. в ватном производстве. Мойку ваты производят на промывной овальной мойке. См. *Ватное производство*, фиг. 5.

МОЖЖЕВЕЛЬНИК, название группы деревьев и кустарников с ароматическим запахом, произрастающих в количестве до 30 видов в северном полушарии. Главнейшие виды М. следующие. Обыкновенный М. (Juniperus communis)—небольшой кустарник, реже дерево до 12 *м* высотою, произрастающее во всей Европе и Сибири; обладает пахучей твердой и трудно раскалимой древесиной с желтоватой оболонью и желто-бурым ядром; об. вес 0,62; употребляется на мелкие поделки, хорошо полируется. Кедровый вереск, красный кедр (Juniperus oxycedrus)—кустарник или деревцо до 3 *м* высотою; произрастает в Крыму, на черноморском побережьи Кавказа, а также в средиземноморской области З. Европы. Древесина плотная, об. вес 0,65—0,75 (в воздушносухом состоянии), душистая и смолистая с светлорозовым ядром, употребляется для карандашей, различных мелких столярных поделок, на виноградные тычины и пр. Гималайский М., древовидный можжевельно-гималайский кедр (Juniperus excelsa)—растет дико в Крыму и на Кавказе, в М. Азии и Персии; достигает высоты до 8—9 *м* при диам. около 1 *м*. Плотная, прочная, ароматическая, красивого розового цвета древесина его употребляется для карандашей, на мелкие поделки и виноградные тычины. Древесина М., будучи пропитана смолою, противостоит гниению и червоточине. Виргинский М. (J. virginiana) — обычно невысокое дерево, но иногда достигает высоты до 24 *м*; произрастает в США (на территории от Гудзонова залива до Мексиканского залива и от Н. Брауншвейга до Флориды и Скалистых гор). Разводится также искусственно в Европе (с 1664 г.). Древесина его красно-бурого цвета, известна под названием красного кипариса (Red Cedar), легкая, об. вес ее 0,33, прочная, легко строгается, идет на карандаши. Эта весьма ценная порода для полиграфич. производства м. б. разводима и у нас; встречается у нас в парках и садах, а также в культурах на юге СССР. Из других ценных М., произрастающих в СССР в Ср. Азии, Сибири и на Гималайских горах, следует упомянуть арчу (J. pseudosabina), древесина к-рой тоже пригодна для карандашного производства. Остальные М. представляют собой не имеющие особого значения низкорослые кустарники.

Из смолы М. добывается *сандарак* (см.). Ягоды применяются в медицине; после сбраживания ягоды дают можжевеловую водку; в нек-рых местах из ягод варят особое пиво, добывают из них также эфирное можжевеловое масло (с выходом до 1—1,5%). В состав масла входит: α-пинен, камфен—терпинеол, терпеновый спирт неизвестного строения, кадинен и другие сесквитерпены. Нормальное можжевеловое масло должно иметь следующие константы: уд. вес 0,867—0,882, вращение α_D от −1° до −13°, коэфициент преломления n_D 1,472—1,484, кислотное число до 3, эфирное число 1,0—12, эфирное число после ацетилирования 19—31. Производство его в СССР развито по преимуществу в сев. и сев.-вост. районах и отчасти обслуживает экспорт. Иногда из ягод изготовляют краску, а кору М. употребляют как дубильный материал (см. *Спр. ТЭ*, т. III).

Лит.: Керн Э., Деревья и кустарники, их лесоводственные особенности, использование и технич. применения, М.—Л., 1925; Пеньковский В., Деревья и кустарники как разводимые, так и дикорастущие в Европейской России, на Кавказе и в Сибири, Херсон, 1901; Вольф Э., Хвойные деревья и кустарники Европейской и Азиатской частей СССР, Л., 1925.

Н. Кобранов.

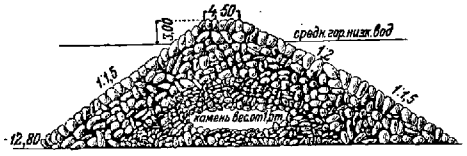
МОЗАИЧНЫЙ НАБОР, см. *Набор* типографский.

МОЙКА-ПРОМЫВКА, одна из важнейших мокрых операций при облагораживании текстильных волокон, обработка непряденого волокна, или пряжи, или ткани водой в моющей ванне, сопровождающаяся механическими воздействиями—разбалтыванием, отжимом и т. д. (в некоторых случаях применяют слабые растворы моющих веществ—соды, контакта Т и т. д.). М.-п. имеет целью очистку волокон от примесей и загрязнений случайного характера (например грязи), естественного характера (например шерстяного пота), намеренно нанесенных на волокно (шлихты), и окончательное освобождение волокна от незакрепленного красителя, использованных химич. материалов, загустки и мыла после крашения, печати и мыловки. Хорошая промывка товара нужна не только для улучшения внешнего вида волокнистых материалов, но и для придания им большей прочности, так как при помощи ее удаляются химич. вещества, разрушающие волокна (кислота—хлопок, щелочь—шерсть, шелк). При промывке б. ч. пользуются холодной водой и только в редких случаях теплой. Чистота воды имеет важное значение при М.-п.: вода, загрязненная механическими примесями, при мойке фильтруется через товар и не промывает, а грязнит его; поэтому для мойки следует применять воду или фильтрованную или же пропущенную через отстойники; также весьма нецелесообразно при М.-п. пользоваться жесткой водой, и во всяком случае исключается применение железистой воды. М.-п. производят в специальных моечных машинах разнообразных конструкций, а также в аппаратах для крашения и проходных аппаратах. Для непряденого волокна применяют моечные машины овальной формы с крыльчатыми или вильчатыми мешалками, а также левиафаны (см. *Промывные машины*). Пряжу промывают в неподвижном состоянии—в бассейнах с циркуляцией, а при движении—в различных полоскально-моечных машинах; для хлопковой ткани наиболее употребительна машина клапо, в к-рой происходит попеременное отжатие товара и смачивание. Другие машины для той же цели производят встряхивание, чем усиливается промывка, и наконец т. н. «полоскалки» промывают кусковой товар без натяжения. Ящики проходных аппаратов, предназначенные для промывки, снабжены особыми трубами с мелкими отверстиями, из к-рых вода опрыскивает ткань, что способствует обильному промыванию ее насквозь.

Лит.: Шапошников В. Г., Общая технология волокнистых и красящих веществ, М.—Киев, 1926; Haller R., Chemische Technologie d. Baumwolle, Technologie d. Textilfasern, hrsg. v. R. Herzog, B. 4, T. 3, B., 1928; Glafey H., Hilfsmittel zur Veredlung d. Baumwolltextilien, ibid. **В. Абозин.**

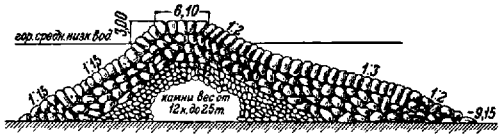
МОЙКА ШЕРСТИ, см. *Шерсть.*

МОЛ, инженерное сооружение, возводимое в море и представляющее собой массивную, прочную стенку, примыкающую одним



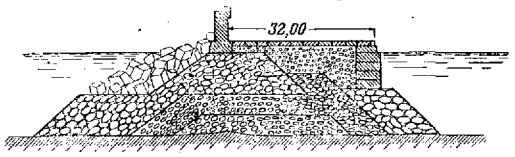
Фиг. 1.

концом к берегу, в отличие от *волнолома* (см.), связи с берегом не имеющего. Назначение мола — образование водной портовой площади, защита ее от волнения и использование в отдельных случаях мола как причала для судов. Конец мола, выступающий в море, называется г о л о в о й, примыкающий к берегу—к о р н е м М. Размеры и конструкция М. определяются силой и направлением ветров и волнения, глубиной заложения М., свойствами дна и материалов, из к-рых М. сооружен, а для замерзающих морей также и напором льда. По форме М. бывают с пологими или вертикальными откосами, а по роду материалов—каменные,



Фиг. 2.

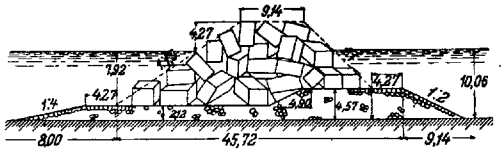
бетонные, железобетонные, деревянные, смешанной конструкции и фашинные. Основным материалом, применяемым для постройки М., является камень в естественном виде или же в виде искусственных массивов, как наиболее удовлетворяющий предъявляемым к материалам, идущим для М., требованиям: плотности, достаточным размерам и химич. неизменяемости под действием морской воды, а также дешевизне и широкому распространению. Как всякое сооружение мол должен рассчитываться на прочность в отдельных частях его, на сдвиг и опрокидывание. Вследствие недостаточной определенности воздействия волн на М., при расчетах берут коэфициенты запаса прочности не ме-



Фиг. 3.

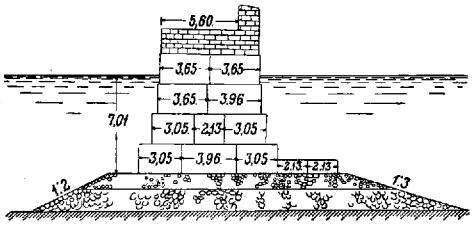
нее 2—2,5. Наиболее подвержены действию волн голова и корень М., а также и подошва, почему эти части требуют особенно тщательного устройства, в виду громадного давления волн на сооружение (30—40 $т/м^2$) и явления подмыва дна.

Различные условия сооружения М. приводят к следующим типам их. 1) Обычное применение естественного камня в виде наброски придает М. очертания, приведенные на фиг. 1 (Панамский М.) и фиг. 2 (американский М.). Поперечное сечение таких молов характеризуется различными откосами со стороны моря (от 1 : 1,5 до 1 : 16) и со стороны гавани (от 1 : 1 до 1 : 2), тщательной сортировкой камней по размеру и значительной шириной поверху и в основании. Материалом служит рваный или булыжный камень весом от 80 *кг* до 1,5—2,0 *т*. На случай особенно сильного волнения верхнюю часть мола обкладывают искусственными массивами объемом до 30—35 $м^3$ для предохранения сооружения от размыва. Типичным примером такой конструкции является Марсельский М. (фиг. 3). Дальнейшим развитием этого типа является укладка массивов на откосе не в виде наброски, а путем



Фиг. 4.

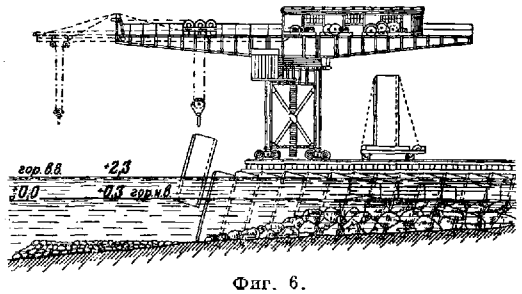
правильной укладки их в один, два ряда и с более крутым откосом. 2) При отсутствии на месте крупных каменных залежей и ради скорейшего выполнения работ применяются искусственные массивы в виде наброски, примером чего служит мол в Поти (фиг. 4). М. из наброски естественных или искусственных камней и массивов имеют помимо меньшей стоимости и простоты выполнения преимущество перед другими типами, заключающееся в том, что осадка сооружения в целом или в отдельных частях не влечет за собою вредных последствий. 3) При наличии хорошего грунта в основа-



Фиг. 5.

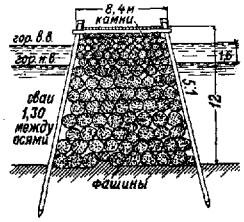
нии М. часто делаются в виде стенки с вертикальными или очень крутыми откосами, сложенной из правильной массивной кладки. Массивы достигают размеров 30—40 $м^3$ и укладываются при помощи специальных кранов насухо с перевязкой швов, горизонтальными рядами. На фиг. 5 показано поперечное сечение Новороссийского мола. Для лучшего обеспечения сооружения от повреждений при различной осадке основания, к чему этот тип М. весьма чувствителен, кладку массивов иногда производят наклонными рядами под углом 60—80°. Такая кладка (фиг. 6) производилась при постройке М. в Ляраше (Larrasch). Подобное расположение слоев представляет преиму-

щества по сравнению с кладкой горизонтальными слоями: отдельные ряды могут свободно сползать один по другому, что при неравномерной осадке основания не нарушает монолитности сооружений; кроме того отдельные массивы оказываются прижатыми



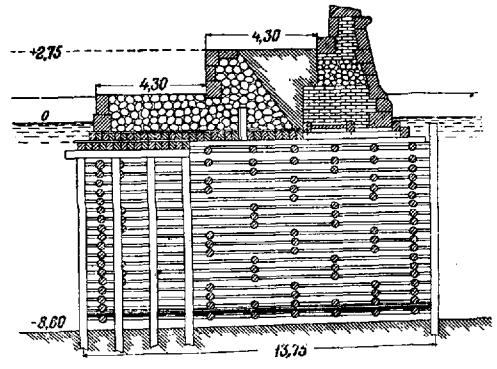
Фиг. 6.

друг к другу не только по плоскостям между слоями, но также и в швах между массивами одного и того же слоя. 4) В целях уменьшения количества материалов сооружаются т. наз. свайные М., в которых наружные грани обделываются сплошными свайными рядами, а середина сооружения, составленная из отдельных свай, заполняется камнем, песком или фашинными тюфяками (фиг. 7).



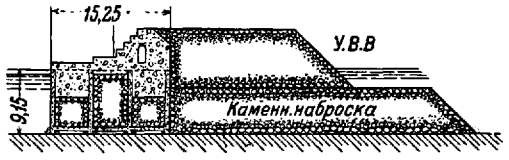
Фиг. 7.

Тип этот применим при небольших (до 7 *м*) глубинах и лишь в морях, где нет морского червя, разрушающего дерево. Деревянные сваи, образующие стенки этих М., м. б. заменены железобетонными, и тогда сооружение приобретает большую надежность, но стоимость в этом случае значительно возрастает. 5) В тех случаях, когда забивка свай затруднительна, оболочкой каменного заполнения мола служат деревянные срубы, образующие так наз. ряжевые молы. Такие срубы, размером до $7{,}5 \times 10 \times 20$ *м*, из бревен или пластин рубят на берегу, спускают на воду и на плаву подводят к месту установки, где по-



Фиг. 8.

средством заполнения камнем погружают на дно, на подготовленную каменную подсыпку толщиной от 1,0 до 1,75 *м* или непосредственно на грунт основания. Внутри ряжи разбиты продольными и поперечными сквозными стенками на отдельные отсеки, внизу же на уровне третьего венца врубается пол, удерживающий каменную засыпку (фиг. 8). В этом примере в части ряжа, обращенной к гавани, забиты сваи для предохранения ряжа от сдвига. 6) Предыдущий тип ряжевых М. в своем развитии привел к получившему в настоящее время повсеместное применение типу М. из гигантских массивов. В этом случае ряжи заменяются железобетонными ящиками размером до 10—12 *м* в ширину и высоту и до 30 *м* в длину, заполняемыми после установки на место тощим бетоном или песком. Сами ящики внутри делятся наподобие ряжей на отсеки и подводятся к месту на плаву. После затвердения бетона внутри ящиков получаются монолитные массивы весом до 8 000—9 000 *т*, что дает сооружению большую надежность при простоте выполнения. Метод создания оградительных сооружений из массивов-гигантов (фиг. 9), очень удобный в смысле производства работ, получил в последние годы применение в разных странах (в Голландии, Франции, Африке и в Южной Америке), а также в СССР, где из них возведены М. и волнолом в Туапсе. Помимо вышеуказанных типов М. встре-



Фиг. 9.

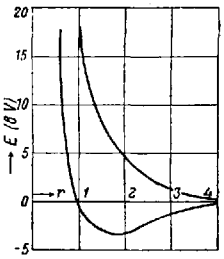
чаются и другие, являющиеся смешанными конструкциями и имеющие местное значение. Расчет мола как инженерного сооружения является весьма сложным вследствие неопределенности воздействия на них внешних усилий, и история их существования дает примеры многочисленных разрушений и повреждений. Стоимость же мола весьма различна в зависимости от глубины заложения, конструкции и условий производства работ.

Лит.: Корчинский Л., Молы, 1915; Ляхницкий В. Е., Курс морских и речных портов, М.—Л., 1926; Нюберг А. Г., Курс портовых сооружений, ч. 1—2, СПБ, 1893; Кандиба Б. Н., Об устройстве внешних оградительных сооружений из искусственных массивов, СПБ, 1901; Schultze F., Seehafenbau, B. 1—2, B., 1911—13; Moeller M., Grundrisse d. Wasserbaues, B. 1—2, Lpz., 1906; Bénézit M., Cours de ports et travaux maritimes, t. 1—3, P., 1921—23; Quinette de Rochemont, Cours de travaux maritimes, t. 1—2, P., 1901; Cunningham B., The Dock a. Harbour Engineer's Reference Book, 2 edition, London, 1923; The Welland Ship Canal, XV, «Engineering», London, 1930, v. 80, p. 637. **В. Медведев.**

МОЛЕКУЛА, минимальная частица вещества, способная к самостоятельному существованию при данных условиях темп-ры и давления и обладающая основными химическими свойствами, присущими данному веществу в большом количестве. Свойства тела обусловлены свойствами и расположением его молекул. Физически М. представляет собою агрегат атомов большей или меньшей степени сложности, от простейших одноатомных М., какими являются М. *благородных газов* (см.) и М. большинства ме-

таллов (в состоянии пара), двух-, трехатомных (М. большинства простых газов) и до более сложных М., содержащих десятки и сотни атомов (М. орган. веществ). Обычно различают М. гомеополярные, или атомные, и гетерополярные, или ионные. Первые построены из электрически нейтральных атомов, вторые—из *ионов* (см.), т. е. заряженных атомов или групп атомов (радикалов). Вещества, состоящие из атомных М., отличаются отсутствием электролитич. проводимости, малой диэлектрической постоянной, заметной летучестью и т. д. Характерным признаком ионных М. являются, наоборот, электролитич. диссоциация соответствующих веществ в жидком состоянии или в растворе, большая диэлектрич. постоянная, склонность к образованию молекулярных комплексов—*ассоциация* (см.). Элементами кристаллических решеток этих веществ являются ионы. Гомеополярными веществами являются большинство газов, напр. H_2, O_2, N_2, и бо́льшая часть органич. соединений. Гетерополярны большинство к-т и их солей, в особенности галоидные соли щелочных элементов, а также вода, аммиак и т. д. Однако разделение веществ на гомео- и гетерополярные не всегда м. б. строго проведено. Целый ряд веществ помещается между этими классами, по одним признакам примыкая к гомеополярным веществам и по другим—к гетерополярным.

Внутреннее строение М. в основном напоминает строение атомов. Главной особенностью М. является наличие двух или нескольких ядер (если не рассматривать одноатомные М.). Благодаря этой особенности М. приобретает ряд новых свойств, отличных от свойств, присущих атому. На основании модельных представлений, развитых в теории строения атома (см. *Атомная теория*), можно трактовать всякую М. как некоторую пространственную конфигурацию положительно заряженных ядер, окруженных отрицательными зарядами—электронами. В атомных М. электроны располагаются симметрично относительно всех ядер. Асимметричное распределение электронов в ионной молекуле приводит к тому, что различные части ее получают противоположные заряды и М. оказывается полярной. При образовании М. из атомов происходит перераспределение атомных электронов соответственно новому образованию—молекуле. В этом перераспределении принимают участие только внешние, или валентные, электроны атомов, которые образуют внешнюю электронную оболочку М., определяющую бо́льшую часть ее свойств и прежде всего оптич., химич. и электрич. свойства. Структура внешней электронной оболочки М. в основном аналогична структуре оболочек атомов. Этим и объясняется тот факт, что многие М. во многих отношениях аналогичны соответствующим атомам. Так, молекула CO аналогична Mg (ср. соединения CO_2 и MgO, и т. д.), молекула CN аналогична атому Cl (соединения C_2N_2 и Cl_2, HCN и HCl); способность органич. радикалов замещать соответствующие атомы также свидетельствует об аналогичной структуре их электронных оболочек. Количественный расчет той электрической системы, которую мы называем М., представляет однако пока непреодолимые математич. затруднения. Лишь в случае простейших М. оказалось возможным решение задачи, и то в первом приближении. На помещенной диаграмме приводится результат этого решения для случая М. водорода. Здесь на оси абсцисс отложено расстояние r между ядрами водорода, а на оси ординат—потенциальная энергия E молекулы (в V). Нижняя кривая, обладающая минимумом энергии, отвечает устойчивому образованию, т. е. нормальной М. H_2, верхняя же кривая соответствует упругому столкновению атомов ($E > 0$). Заметим, что подобные расчеты основаны на методах, развитых в волновой механике, и только благодаря последней стали возможными. Впрочем это не относится к ионным М., представляющим в отношении их математич. расчета значительные преимущества, поскольку главная часть их энергии обусловлена кулоновским притяжением образующих их ионов. В случае простейших М.—



двухатомных—здесь оказалось возможным вычислить целый ряд молекулярных констант (см. ниже); в случае же более сложных М. удалось установить их размеры и форму. Так, в М. воды H_2O ионы H^+, H^+ и O'' располагаются в вершинах равнобедренного тр-ка, а в ионе CO_3'' углеродный ион C^{++++} помещается на перпендикуляре, восставленном из центра правильного тр-ка, в вершинах к-рого сидят ионы O'', и т. д.

В непосредственной связи со степенью асимметрии электронной оболочки М. стоит склонность М. к образованию б. или м. сложных молекулярных комплексов (ассоциация и комплексообразование). Степень асимметрии М. количественно характеризуется дипольным моментом (см. *Диполь молекулярный*). Полярные М., отличающиеся большим дипольн. моментом, взаимодействуют как магнитики. Поэтому именно этот класс М. должен обладать наибольшей склонностью к ассоциации (и вообще к комплексообразованию). Действительно известно, что такие вещества, как вода, спирты, кислоты и т. д., принадлежат к классу сильно ассоциирующихся веществ. Эта ассоциация проявляется в отклонении от газовых законов, от правила Трутона, в сильной адсорбируемости—поверхностной активности (см. *Капиллярные явления*, *Адсорбция*). Громадное значение для ассоциации и комплексообразования имеет поляризация (или деформация) электронных оболочек молекул, имеющая место при их сближении. Возникающий в результате поляризации индуцированный электрический момент и способствует ассоциации. Поляризация особенно сильна в случае ионов, к-рые при нормальном давлении газа или в растворах являются сложными комплексами, возникшими в результате притяжения ионом им же поляризованных окружающих его М. Энергия, связанная с поля-

ризационными силами и с силами взаимодействия диполей, составляет обычно несколько тысяч cal на моль. Эта энергия имеет следовательно тот же порядок величины, что и теплота испарения. Это показывает, что силы, связывающие молекулы данного вещества в твердом и жидком состоянии, имеют одинаковое происхождение с силами, которые обусловливают ассоциацию. Сказанное однако имеет место лишь в случае веществ, кристаллизующихся в молекулярные решетки. В случае же веществ, образующих ионные кристаллические решетки, силы взаимодействия между конденсированными М. настолько велики, что М. теряют свою индивидуальность. В связи с этим теплота испарения и сублимации таких веществ значительно превышает теплоту ассоциации и выражается десятками тысяч cal на моль. Таковы напр. галоидные соли щелочных элементов.

Наряду с асимметрией весьма существенное значение для образования молекулярных соединений имеет степень замкнутости электронной оболочки М. Эта замкнутость осуществляется тем, что образующие внешнюю оболочку М., электроны группируются попарно, образуя замкнутые астатические системы (ряд фактов заставляет приписать электрону магнитный момент), не принимающие участия в валентной связи. Именно отсутствием замкнутости электронной оболочки М. объясняется тот факт, что все М. с нечетным числом электронов (т. наз. «нечетные» М.) являются химически ненасыщенными и особенно склонны к ассоциации. Таковыми являются М.: NO_2, ассоциирующиеся в $(NO_2)_2$; CN, существующие в обычных условиях в виде М. $(CN)_2$, $HgCl—Hg_2Cl_2$, $Na—Na_2$ и т. д. В связи с незамкнутостью электронной оболочки М. O_2, S_2, P_2 и т. д. стоит и факт существования М. O_3, O_4, S_6, S_8, P_4 и т. д. Впрочем М., ассоциированные вследствие незамкнутости электронных оболочек (N_2O_4, C_2N_2, P_4 и т. д.), должны быть скорее рассматриваемы как обыкновенные химич. соединения (характеризующиеся определенными стехиометрич. соотношениями); однако часто очень трудно провести грань между молекулярным и обычным соединением. Особенно разительный пример такой неопределенности имеем в М. O_4, теплота диссоциации к-рой на 2 O_2 составляет всего 130 cal на моль.

Одним из главных свойств М., отличающих ее от атома, является наличие (наряду с поступательным движением М. как целого) вращательного движения М. и колебательного движения ее частей. Колебательное и вращательное движение М. проявляется прежде всего в *теплоемкости* (см.) последней. Теплоемкость многоатомных газов всегда больше теплоемкости одноатомных, так как при нагревании первых нек-рая дополнительная часть энергии идет на возбуждение колебания и вращения. Согласно теории квантов на каждую степень свободы этих родов движения приходится количество энергии W (отнесенное к молю), равное

$$W = \frac{1}{2}\frac{N_0 h\nu}{e^{\frac{N_0 h\nu}{RT}}-1}, \qquad (1)$$

где ν — частота колебаний (оборотов) вращающейся М., T—абс. температура, R—газовая постоянная, N_0—число Авогадро и h—постоянная Планка, равная $6{,}55\cdot10^{-27}$ эрг/ск. При малых значениях ν (1) переходит в $\frac{1}{2}RT$. Так как частоты вращения М. как правило малы, то величина $\frac{1}{2}RT$ с достаточной точностью может выражать соответствующую часть вращательной энергии М. Доля теплоемкости, отвечающая (1) или более простому выражению $\frac{1}{2}RT$, получается диференцированием по T. Что касается числа степеней свободы, то оно для вращательного движения равно числу i осей, вокруг к-рых М. может вращаться, и для колебательного — числу j частот собственных колебаний М. Т. о. для молярной теплоемкости (при постоянном объеме) получается следующее выражение:

$$C_v = \frac{3}{2}R + \frac{i}{2}R + \sum_j \frac{d}{dT}\frac{N_0 h\nu_j}{e^{\frac{N_0 h\nu_j}{RT}}-1}. \qquad (2)$$

Во (2) ν_j обозначает одну из частот собственных колебаний М. Заметим, что для двухатомной М. $i=2$ и $j=1$.

Другой областью, где проявляются внутренние движения М., является область молекулярной спектроскопии. Благодаря наличию колебаний и вращения М. спектры последних (линейчато-полосатые) представляются значительно более сложными, чем сравнительно простые (линейчатые) спектры атомов. Анализ линейчато-полосатых молекулярных спектров позволяет с большой точностью определить такие важные величины, как частоты собственных колебаний ν, момент инерции I и теплоту диссоциации молекулы D. Две первых величины входят в химическую константу М. Кроме этих величин константами, характеризующими каждую данную М., можно считать ее диаметр (размеры), расстояние r между атомами в М., углы, определяющие форму М. и электрич. момент p М. Диаметр М. определяется из коэф-тов внутреннего трения или диффузии (газы), при помощи рентгеновского анализа (твердые тела) или из тонких мономолекулярных пленок на поверхности жидкостей, и имеет значения, колеблющиеся для разных веществ в пределах от 2 до 10 Å. Диаметр. большинства М. неорганических веществ выражается числом, близким к 3 Å. Расстояние между атомами или отдельными группами атомов М. с большой степенью точности вычисляется из моментов инерции, определяемых оптич. путем, или из рентгенографических исследований. Так, для расстояния между атомами H в М. H_2O получается число 1,09 Å, а для расстояния между атомами O и H—0,87 Å. В М. CO_2 для расстояния между атомами O получается число 1,95 Å, а для расстояния между атомами C и O—0,96 Å, почти ровно вдвое меньше. На основании этих чисел заключают, что М. H_2O имеет форму тр-ка со сторонами 1,09 и 0,87 Å (две одинаковые

стороны, ср. выше), а в М. CO_2 все три атома располагаются почти точно на одной прямой. Повидимому в связи с этим обстоятельством находится ничтожно малый электрич. момент М. CO_2. Аналогичные исследования внутримолекулярных расстояний в случае сложных органич. М. показывают, что атомы С здесь нередко располагаются на зигзагообразной линии, сохраняющей постоянные углы. Одним из методов определения электрического момента М. является метод, основанный на изучении зависимости диэлектрической постоянной от $t°$. Электрич. моменты μ большинства полярных молекул имеют значения, близкие к $1 \cdot 10^{-18}$ абсолютных электростатич. единиц, достигая однако в случае особенно асимметричных молекул величины от $4 \cdot 10^{-18}$ до $6 \cdot 10^{-18}$ [$C_6H_5NO_2$, $C_6H_4(NO_2)_2$, $CH_3C_6H_2(NO_2)_3$] и падая до нуля в случае симметричных М. Влияние асимметрии М. на ее дипольный момент ясно обнаруживается при последовательном замещении хлором атомов водорода в метане (CH_4), что видно из следующего:

Молекула . . .	CH_4	CH_3Cl	CH_2Cl_2	$CHCl_3$	CCl_4
$\mu \cdot 10^{-18}$	0	1,97	1,59	0,95	0

Лит.: Кондратьев В. Н., Семенов Н. Н. и Харитон Ю. Б., Электронная химия, М.—Л., 1927; Кондратьев В. Н., Физич. и химич. свойства молекул, М.—Л., 1928; Лондон Ф., Теория квантов и химич. связь, «УФН», 1929, 9, вып. 2, стр. 167; Lewis G., Valence a. the Structure of Atoms a. Molecules, N. Y., 1925; Mecke R., Bandenspektra u. ihre Bedeutung f. die Chemie, B., 1929; Debye P., Polar Molecules, N. Y., 1929. **В. Кондратьев.**

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ РЕАКЦИИ, см. *Реакции химические.*

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ВЕС, относительная масса (вес) молекулы данного вещества (см. *Молекула*) по отношению к массе атома кислорода, принятой за 16,000. При этом М. в. водорода—относительная масса наиболее легкой молекулы—$H_2 = 2{,}016$. Понятие М. в. можно обобщить, распространив его на любую частицу, способную существовать отдельно; совокупность таких частиц характеризует физико-химическое состояние вещества. Так, многие вещества в жидком состоянии содержат двойные, тройные и т. д. (ассоциированные) молекулы (см. *Жидкости*). Такие же ассоциированные молекулы содержатся иногда и в парáх. Отдельные частицы—мицеллы—в коллоидных растворах являются агрегатами, состоящими из большого числа молекул. Простейшими молекулами данного вещества являются при этом наименьшие из возможных составляющих его частиц, отвечающие его наиболее простой структурной ф-ле; наличие этих простейших молекул обнаруживается одним из методов определения М. в. (см. ниже), иногда при специально выбранных физич. условиях (напр. при высокой $t°$). Простейшие молекулы простых веществ одноатомны; таковы напр. молекулы металлов в парообразном состоянии и благородных газов. Молекулы других простых веществ, газообразных при обычных условиях, б. ч. двухатомны (H_2, O_2, N_2, Cl_2), но при высоких $t°$ диссоциируют на одноатомные. Реальные тела (жидкости, пары) следует рассматривать как систему из нескольких видов молекул, находящихся между собою в подвижном равновесии (см. *Равновесие* физико-химическое).

Методы определения М. в. можно разделить на суммарные, к-рые дают М. в. тела, т. е. средний вес отдельных образующих тело частиц (часто различных), и элементарные, дающие М. в. каждого вида частиц, содержащихся в теле. Только элементарные методы дают колич. представление о характере различн. частиц, образующих тело. В физико-химич. практике наиболее распространены суммарные методы определения М. в.; они вполне достаточны для тех случаев, когда тело практически содержит молекулы только одного вида; нек-рые из этих методов отличаются высокой точностью, позволяющей определять из полученных данных и точные атомные веса (физич. методы определения ат. в.). К суммарным методам относятся: 1) методы определения М. в. в газообразном (парообразном) состоянии, основанные на законе Авогадро (см. *Газ*); 2) осмотич. методы, дающие М. в. растворенных веществ и основанные на термодинамич. законах учения о разбавленных растворах; 3) кинетич. методы определения М. в.; к ним относятся измерения скорости истечения газов (т. н. эффузии), определение коэф-та диффузии (см. *Диффузия*) и метод ультрацентрифугирования, имеющий особенно большое значение для тяжелых молекул и коллоидных частиц; 4) определение среднего М. в. жидкости по изменению поверхностного натяжения с $t°$ (см. *Поверхностное натяжение, Капиллярные явления, Жидкости*).

1. Зная плотность пара вещества по отношению к водороду (D_H) или к воздуху (D_B) при данных условиях ($t°$, p) и считая пар идеальным газом, находим его М. в. (M) по формуле:

$$M = 2{,}016 D_H \quad (\text{или } M \cong 2D_H). \qquad (1)$$

Т. к. плотность воздуха по отношению к водороду = 14,4, то

$$M = 28{,}95 D_B \quad (\text{или } M \cong 29 D_B); \qquad (2)$$

зная число Авогадро $N = 6{,}06 \cdot 10^{23}$ (число молекул в 1 *г*-мол.), находим абсолютную массу молекулы в *г*:

$$m = \frac{M}{N} = \frac{M}{6{,}06 \cdot 10^{23}}.$$

Из основной постоянной закона Авогадро—нормального молярного объема идеального газа $v_m = 22{,}416$ *л*/*г*-мол. (см. *Газ*) можно найти М. в., измерив объем v, занимаемый данной произвольной массой газа (пара) P при нормальных условиях:

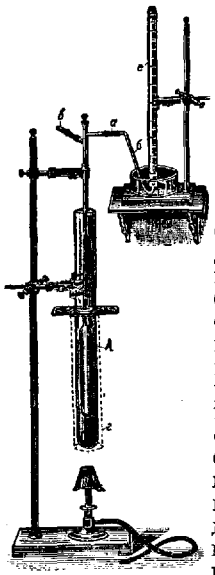
$$M = \frac{v_m}{v} \cdot P = \frac{22{,}4}{v} \cdot P; \qquad (3)$$

$\frac{P}{v} = g$—вес 1 *л* газа при нормальных условиях. Т. к. условия «идеальности» газа или пара удовлетворяются далеко не строго, то ф-лы (1), (2), (3) дают, вообще говоря, только грубо приближенный М. в.; однако в большинстве случаев это оказывается достаточным, т. к. точный М. в. вычисляется затем по химич. формуле; предварительное же физическое определение необходимо чтобы решить, соответствует ли молекуле простейшая или кратная (двойная, тройная и т. д.) ф-ла. В случаях весьма точных измерений М. в. газов, напр. когда ими пользуются для определения основных ат. в. (O, N, H и др.—

работы Гюи, Ледюка, Морлея и др.),—во все ф-лы вводятся поправки на уклонение газа от идеально-газовых законов; например вместо ф-лы (3) получаем:

$$M = \frac{22{,}416}{1+\lambda} \cdot g \qquad (4)$$

(т. к. 22,416 $л$ данного реального газа содержат при нормальных условиях не 1, а $1 + \lambda$ $г$-мол.; поправка λ определяется из уклонений от идеально-газовых законов). Т. о. определение М. в. паров сводится к решению газометрической задачи и осуществляется одним из следующих способов (при t = Const): а) P определяется взвешиванием данного объема пара v под данным давлением p (метод Дюма, точное определение веса 1 $л$ газа при нормальных условиях). б) Даны p, P, определяется v—наиболее общепринятый метод определения плотности паров В. Мейера; v измеряется по объему вытесненного воздуха, см. фиг. Главную часть прибора составляет стеклянный сосуд A, имеющий вверху отверстие для введения ампулы с испытуемым веществом, газоотводную трубку $аб$ и приспособление $в$ для опускания ампулы на дно сосуда (стеклянная палочка, укрепленная подвижно); нижняя часть сосуда окружена обогревательной оболочкой $г$. Навеска испытуемого вещества в ампуле помещается на палочку; сосуд A нагревают до постоянной $t°$, после чего выдвиганием палочки заставляют ампулу упасть на дно сосуда, где она разбивается. Вещество, испаряясь, вытесняет равный объем воздуха через трубку $б$ в сосуд $е$, где его и измеряют. в) Даны v, P, определяется p (метод Гей-Люссака—Гофмана); для этой цели очень удобен прибор Блекмана, в к-ром в стеклянную трубку с навеской данного вещества запаивается градуированный капилляр, закрытый с одного конца находящимся в нем ртутным столбиком. При помещении трубки в термостат вещество переходит в пар при данной $t°$, и давление, производимое им, легко вычисляется прямо по перемещению ртутного столбика в капилляре, т. е. по сжатию объема воздуха, заключенного в капилляре.



2. Осмотические методы основаны на том, что, как показывает термодинамич. теория растворов, понижение $t°_{зам.}$ и повышение $t°_{кип.}$ в слабых растворах пропорциональны концентрации, т. е. числу отдельных частиц (молекул, ионов) в единице объема; при расчете на 1 молекулу (т. е. 1 $г$-мол.) они не зависят от природы растворенного вещества и характерны для данного растворителя (см. *Криоскопия*). Для коллоидных растворов напр. осмотич. давление и величины депрессии очень малы, что указывает на весьма высокий М. в. их частиц (доходящий до 10 000—100 000).

3. М. в. газов и паров, как и плотность их, можно определять по скорости V истечения газа из малого отверстия в тонкой пластинке, так как скорость эта обратно пропорциональна $\sqrt{D}$ или $\sqrt{M}$ (Бунзен):

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{V_2^2}{V_1^2}.$$

На этом принципе основан аппарат Шиллинга для определения плотности светильного газа. Таким же образом меняется с М. в. и скорость диффузии газов, на чем основан метод разделения изотопов в газообразном состоянии [напр. хлора—Гаркинс (Harkins)]. Интересным новым кинетич. методом определения М. в. коллоидно растворенных веществ является метод ультрацентрифугирования, введенный Сведбергом и его учениками (1924). Центрифугируемая со значительной скоростью плоскопараллельная кювета кинематографируется при прохождении через определенное положение на окружности вращения. Полученный фильм, дающий ряд последовательных состояний седиментирующего под действием центробежной силы коллоидного раствора через одинаковые промежутки времени, микрофотометрируется, что дает концентрацию коллоидных частиц на любой высоте сосудика. Определяя отношение этих концентраций C_1, C_2 для любых двух высот h_1, h_2, получаемое после долгого центрифугирования в результате достижения седиментационного равновесия, т. е. равновесия между центробежной силой и диффузионными силами, находим М. в. по формуле:

$$M = \frac{D_1}{D_1 - D_2} \cdot \frac{RT}{\omega^2} \cdot \frac{\ln \frac{C_1}{C_2}}{\left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right)(h_2 - h_1)},$$

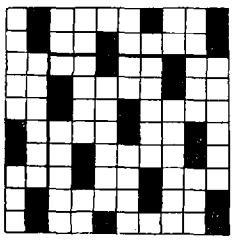
где ω — угловая скорость вращения, а D_1 и D_2 — соответственно плотности коллоидных частиц и растворителя. Аналогично можно определять М. в. также и по диффузионным измерениям.

Основным «микрометодом» — элементарным методом определения М. в., позволяющим измерять массы отдельных заряженных частиц (атомов и их групп), является метод Дж. Дж. Томсона, усовершенствованный Астоном в форме массового спектрографа, дающего возможность с большой точностью определять $\frac{e}{m}$ (отношение заряда к массе), а следовательно и массу m положительно заряженных частиц, образующих каналовые (анодные) лучи; см. *Изотопы*. Этим методом были определены ат. в. отдельных изотопов. Для водорода т. о. были измерены массы молекул $H_2 = 2{,}012 \div 2{,}018$ и $H_3 = 3{,}025 \div 3{,}027$ (считая $C^{**} = 6$).

Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, 9 изд., т. 1—2, М.—Л., 1927—28; Смит А., Введение в неорганич. химию, пер. с 3 нем. изд., под ред. с доб. А. В. Раковского, вып. 1—2, М.—Л., 1929; Вознесенский С. А. и Ребиндер П. А., Руководство к лабор. работам по физич. химии, М.—Л., 1928; Ребиндер П. А., Об ультрацентрифуге Сведберга, «УФН», 1926, т. 6, вып. 4—5, стр. 397; Бирон Е. В., Учение о газах и жидкостях, М.—П., 1923; Астон В. Ф., Изотопы, пер. с англ., М.—П., 1923; Handb. d. Arbeitsmethoden in d. anorgan. Chemie, hrsg. v. A. Stähler, B. 3, Hälfte 1, B.—Lpz., 1913; Houben J.—Weyl T., Die Methoden d. organ. Chemie, 3 Aufl., B. 1, Lpz., 1925; Arndt K., Handb. d. phys.-chem. Technik, 2 Aufl., Stg., 1923.

Svedberg T., «Kolloid-Ztschr.», Dresden, 1930, B. 51; Alexander J., Colloid Chemistry, v. 1—Theory a. Methods, N. Y., 1926; Morley, «Ztschr. für phys. Chem.», Lpz., 1896, B. 20, p. 1, 68, 242, 417; Guye Ph. A., «Journ. de Chimie phys.», Paris, 1907, t. 5, p. 203, 1908, t. 6, p. 769, 1910, t. 8, p. 222; Berthelot D., «CR», 1907, t. 144, p. 76, 194, 269, 145, 317; Beckmann, «Ztschr. für phys. Chemie», Leipzig, 1888, B. 2, p. 638, 715, 1901, B. 51, p. 337, B. 53, p. 130; Blackmann Ph., ibid., 1908, B. 63, p. 48, 381, 635, 1909, B. 65, p. 549; Thomson J. J., Rays of Positive Electricity a. Their Application to Chemical Analysis, 2 ed., L., 1921; Aston, «Nature», L.—N. Y., v. 104, p. 334—393. **П. Ребиндер.**

МОЛЕСКИН, чортова кожа, хл.-бум. ткань, напоминающая по внешнему виду демикотон. По своему строению М. принадлежит к видоизмененному сатиновому переплетению (фиг.) и относится к группе уточнонастилочных (сукновидных) тканей. Из всех одежных товаров М. является самым распространенным хл.-бум. изделием. М. имеет важное экономич. значение как недорогая, прочная и теплая ткань из группы хл.-бум. изделий, благодаря чему фабрикация его из года в год усиливается. М. выпускается на рынок или начесанным или только отделанным (окрашенным). Начесывание (т. н. ворсование) М. производят или с одной лицевой поверхности или же с обеих сторон ткани. Чтобы начес был ровный по всей поверхности, его подстригают на специальных машинах. По окончании означенных операций и дальнейших—крашения и аппретирования—М. получает подобие сукна, вследствие чего ему присваивается название М.-сукно. В отделке М. красится в различные цвета, преимущественно в черный, кубовый и коричневый. М. также отбеливается и идет на кителя. В ряде основных признаков доброкачественности существенную роль играет прочность крашения ткани, к-рая не должна линять от воды и выгорать на свету. М. вырабатывается по тонкой основе равным утком и в зависимости от сорта выпускается различной степени плотности и тонины. М. ровный вырабатывается шириною в 71 *см*. Основа берется № 24, уток № 20; плотность по основе 64, а по утку 110—140 нитей на 1 дм. М. тонкий вырабатывается шириною в 71 *см* при №№ пряжи—основы 24 и утка 30, с плотностью 64 нити по основе и 160 нитей по утку в 1 дм. М. угарный выпускается шириною 71—142 *см*. Основа берется № 24, а уток № 6—№ 8, при плотности по основе 58, а по утку 62—88 нитей на 1 дм. М.-сукно вырабатывается шириною в 71 *см*, при основе № 24 и утке № 12 с плотностью по основе в 58, а утку 104 нити на 1 дм. Работается молескин в 5, 6 и 7 ремизок при проборке 1 нити в галю и 2 нитей в зуб берда. **С. Молчанов.**



М. в полиграфии, плотная ткань для оклейки переплетов, требующих особой прочности в употреблении,—напр. переплетов конторских и разносных книг. См. *Переплетное производство* и *Ткани технические*.

МОЛИБДЕН, Mo, химич. элемент VI группы периодич. системы, ат. вес 96,0, ат. номер 42; аналог Cr и W, образующий вместе с ними подгруппу (триаду).

Физические свойства. М.—серебристо-белый металл; уд. вес 10,02—10,32; твердость чистого М. по Мосу—5,5. Сопротивление его на разрыв зависит от микроструктуры и от характера обработки и меняется в пределах 70—220 *кг/мм*²; с повышением $t°$ обработки крепость М. уменьшается и для $t°$ около 1 000° достигает минимального значения. Относительное удлинение меняется в зависимости от $t°$ обработки; для проволоки, протянутой при $t°$ между 0 и 100°, оно достигает максимума (10—18%), при более горячей обработке снижается и для $t°$ около 1 000° приближается к нулю; отжиг проволоки увеличивает относительное удлинение; физич. структура (размеры зерна) также оказывает на него влияние. Поперечное сжатие несколько увеличивается с возрастанием $t°$ обработки и с укрупнением зерна. Твердость по Бринелю для неотожженного М. равна 160—185. Коэф. сжимаемости равняется $(0{,}34 \div 0{,}47) \cdot 10^{-6}$ *см*²/*кг*; удельн. теплоемкость в пределах 20—930° равна 0,065 ÷ 0,076 cal/*г*. Средний коэф. лин. расширения М. для $t°$ 25—100° равен $4{,}9 \cdot 10^{-6}$; для 25—500°—$5{,}5 \cdot 10^{-6}$. Удлинение в пределах $t°$ 0÷400° может быть найдено по формуле: $\Delta l = 0{,}510\, t + 0{,}0124\, t^2$. Вполне чистый молибден по наиболее точным определениям имеет $t°_{пл.}$ от 2 620° ± 10° до 2 840° ± 40°; на практике обычно принимают значение $t°_{пл.}$ 2 570°; $t°_{кип.}$ М. равна 3 650 — 3 700°. Теплота горения (Mo → MoO_3) на *г*-атом М. равна 166 ÷ 181,5 Cal. Электрическое сопротивление М. для неотожженной проволоки (при 25°) равно $5{,}6 \cdot 10^{-6}$ Ω-*см*, для отожженной—$4{,}8 \cdot 10^{-6}$ Ω-*см*; его $t°$-ный коэф. α (при 20—100°) = $4{,}73 \cdot 10^{-3}$. Сопротивление в пределах 0 ÷ 2 200° выражается формулой: $\varrho = (44 + 0{,}177t + 0{,}000053t^2) \cdot 10^{-7}$ Ω-*см*; соответственные величины ϱ приведены ниже в таблице.

Удельное сопротивление М. при различных $t°$ в Ω-*см*.

$t°$	$\varrho \cdot 10^{-6}$	$t°$	$\varrho \cdot 10^{-6}$
−192	1,041	800	21,93
0	4,40	1 000	27,37
100	6,204	1 200	33,23
200	8,07	1 400	39,5
300	9,99	1 600	46,2
400	11,95	1 800	53,35
600	16,91	2 000	60,9

Сопротивление 1 *п. м* проволоки из М. при 20° равно 0,0478 Ω-*мм*². Удельн. электропроводность при 0°=22,7 · 10^4 мо. Термоэдс для спая Mo-P при $\Delta t°$ 0—100° достигает 1,26 mV; для спая Mo-W при $\Delta t°$ = = 540°—12,5 mV. Молибден парамагнитен; его уд. магнитная восприимчивость χ при 18° = + 0,04 · 10^{-6}.

Химические свойства. На воздухе Mo окисляется медленно уже при обыкновенной $t°$; с повышением $t°$ процесс ускоряется, и при 600° Mo сгорает быстро в трехокись MoO_3. Конц. к-ты, а также плавиковая к-та и растворы щелочей на Mo не действуют; при 200—250° конц. H_2SO_4

быстро растворяет Mo, выделяя SO_2 и переводя Mo в низший окисел. Царская водка растворяет Mo при обыкновенной $t°$. С галоидами Mo реагирует—с F уже при обыкновенной $t°$, с Cl—при $t°$ красного каления, с Br—при $t°$ белого каления.

Переработка руд. В технике для получения металлического М. пользуются главн. обр. молибденитом, MoS_2 (см. *Молибденовые руды*). Все методы обработки имеют конечной целью получить из руд трехокись молибдена, MoO_3. Для этой цели м. б. применены следующие операции: 1) обжиг руды, 2) электролиз, 3) хлорирование и 4) разложение щелочами мокрым или сухим путем. На практике применяется почти исключительно о б ж и г. Для этой операции берется концентрат, измельченный и просеянный через сито с 200 отверстиями на 1 пог. дм. К концентрату добавляют кварцевый песок, так как руда по мере окисления уплотняется в комки, что препятствует ее полному окислению; по той же причине не следует производить очень мелкий размол концентрата. Смесь рудного помола с песком нагревают до 600° при обильном доступе воздуха. Окисление сопровождается саморазогреванием; чрезмерный перегрев ведет к частичному улетучиванию MoO_3 и к спеканию руды (в особенности—содержащей Cu и Fe). Конец обжига определяют растворением пробы в щелочи: по количеству оставшихся блесток MoS_2 судят о полноте окисления. Конструкция печей, применяемых при обжиге MoS_2, должна удовлетворять след. требованиям. Печь должна иметь такую систему обогрева, чтобы возможно было легко регулировать $t°$ и даже быстро прекращать топку. Воздух должен поступать в окислительное пространство так, чтобы по пути он не смешивался с топочными газами и чтобы приток его можно было регулировать или совсем прекратить. Регулировка нагревания и подачи воздуха должны быть устроены отдельно друг от друга, т. к. при наступившем окислении дальнейшего нагрева не требуется. Печь строится муфельного типа (квадратного или полуцилиндрического сечения) с плоским подом для засыпки руды. В печах большой производительности устраивают механич. приспособление для удаления обожженной руды. Отходящие газы должны проходить через промывное устройство или через конденсационную камеру для улавливания испарившегося MoO_3. При процессе обжига выделяются SO_2 и SO_3, а также мышьяк в виде As_2O_3. Летучесть MoO_3 при высоких $t°$ послужила основанием к получению MoO_3 из руды методом возгонки. Для этого руду измельчают в крупку, проходящую через сито с 8 отверстиями на пог. дм. и нагревают при $t°$ выше 790° в атмосфере, содержащей избыток кислорода; образовавшаяся MoO_3 улетучивается, конденсируется в виде пыли и улавливается в мешки из плотной ткани. Для предупреждения спекания руды к ней примешивают кварцевый песок или жженую известь. Получаемая MoO_3 содержит примесь As и Bi.

Электролитическая обработка MoS_2. Превращение MoS_2 в MoO_3 путем окисления на аноде предлагалось неоднократно, но пока не получило промышленного применения; оно может проводиться либо в кислом либо в щелочном растворе. При кислом процессе измельченную руду замешивают с разбавленной серной к-той в тесто и на пластинчатом аноде, расположенном горизонтально, подвергают действию тока в электролите из разбавленной серной к-ты; катод из кислотоупорного металла располагают сверху; электролиз ведется при напряжении 5—7 V, плотности тока 0,2 А/дм.² и $t°$ электролита 90°; при этом MoS_2 окисляется в нерастворимую MoO_3, а Fe и Al переходят в раствор; вместе с MoO_3 осаждается и SiO_2; поэтому для очистки MoO_3 ее растворяют в аммиаке. При щелочном процессе руду замешивают в тесто со щелочью и укладывают на плоский анод, изготовленный из никеля или из сплава никеля с 12% М.; электролитом служит 25%-ный раствор NaOH; в этом случае образующаяся MoO_3 растворяется в электролите, что же касается Fe и SiO_2, то они остаются в анодном шламе.

Разложение MoS_2 хлорированием. При этом способе MoS_2 прокаливается в токе воздуха, смешанного с газообразным HCl; в результате получается хлоргидрат $MoO(OH)_2Cl_2$, к-рый сублимируется. Реакция эта м. б. проведена в закрытой подовой печи; указанным методом можно обрабатывать бедные молибденовые руды при условии, что пустая порода руды не образует летучих окислов или хлоридов при $t°$ реакции. Имеются также патенты на способ хлорирования руд током чистого хлора при $t°$ ок. 800°; в первой фазе процесса Mo превращается в хлорид или в хлорокись, к-рые затем расщепляются водяным паром на MoO_3 и HCl.

Обработка MoS_2 щелочами м. б. применена как к сырой руде, так и к предварительно обожженной. В первом случае размолотый концентрат смешивают с углекислыми или едкими щелочами, нагревают в печи с перемешиванием выше $t°_{пл.}$ смеси и продувают через плав смесь воздуха и водяного пара. В результате получается плав, содержащий молибдат щелочного металла; его измельчают и выщелачивают водой. Этот метод технически мало пригоден. Более удобным является следующий путь: MoS_2 хорошо обжигают и, смешав с кальцинированной содой, нагревают в печи при $t°$ темнокрасного каления; образуется полужидкий плав, содержащий щелочной молибдат или димолибдат; его сливают в железные ящики, охлаждают, размалывают и обрабатывают горячей щелочью в железных сосудах. По Perrnet, необожженную руду смешивают с содой, небольшими порциями вносят в печь и плавят; когда печь наполнится, плав окисляют прибавкой нитрита натрия в смеси с известью, вводимой для связывания SiO_2. Плав тонкой струей выливают в слабый раствор щелочи. Другие авторы предлагают сплавлять обожженный MoS_2 с содой и NaCl (или NaF, $CaCl_2$, CaF_2), прибавляя к смеси окисляющие средства в виде $NaNO_3$ или $NaClO_3$. Кроме указанных методов сплавления со щелочами существует метод щелочной обработки руды мокрым путем; он применяется тогда, когда молибденовый блеск содержит мало железа, и особенно при использовании бедных руд. Для этого обожженную руду обрабатывают при нагревании крепким раствором кальцинированной соды или замешивают ее в пасту с раствором едкой щелочи и нагревают: образуются щелочные молибдаты, растворимые в воде. В настоящее время получаемые из руды щелочные молибдаты нередко переводят в молибдат кальция (осаждая его из раствора кальциевыми солями или известью при нагревании), т. к. эта соль непосредственно применяется при выплавке молибденовой стали. Полученный молибдат кальция (см. *Молибдена соединения*) для применения в металлургии освобождают от воды и углекислоты прокаливанием. Германские з-ды запатентовали следующий метод: руду с основными присадками обжигают в печи при окислении воздухом, затем нагревают с добавкой соды и кремнезема до спекания и после того сплавляют с сернистой щелочью; обрабатывая плав водой, получают в растворе молибдат натрия. Можно также непосредственно прокаливать в печи смесь руды с сернистой щелочью. Обработку руд, содержащих медь, по Мансфельду, следует производить с прибавкой железа, т. е. связывать Mo в виде молибдата Fe. Кроме молибденового блеска в переработку на М. иногда поступает вульфенит ($PbMoO_4$); попутно из него получают свинец и нек-рые благородные металлы; обработка этой руды ведется обычно щелочным способом (выщелачивание раствором Na_2S при нагревании).

Получение металлического М. Чистый М. получают обычно из трехокиси MoO_3, приготовляемой прокаливанием молибденовых солей. MoO_3 восстанавливают водородом; процесс аналогичен применяемому

при изготовлении *вольфрамовой проволоки* (см.); при этом получается наиболее чистый металл (99,95% Mo); этот способ применяется наиболее часто в США. Существует также метод получения чистого М. восстановлением MoO_3 металлич. кальцием; для этого смешивают тонкие опилки кальция (в двойном количестве против теоретического) с MoO_3, помещают в железную трубку, с одного конца заваренную, с другого закрытую крышкой с краном, и для начала реакции подогревают; по окончании восстановления спекшуюся массу извлекают из трубки, измельчают, избыток кальция удаляют водой, а оставшийся М. промывают уксусной к-той; окончательно его очищают промывкой ацетоном и нагреванием в вакууме. М. получают также алюминотермической переработкой MoO_3, которая дает продукт, свободный от углерода, но с примесью небольшого количества SiO_2 и от 1 до 2% железа.

Применение. Металлич. М. получил применение главным образом в производстве специальных видов стали (на что расходуется более 90% всего добываемого М.). Война 1914—18 гг. особенно выдвинула требование на специальные металлы, необходимые для изготовления брони, бронебойных снарядов, оружия, автомобильных и аэропланных частей, постоянных магнитов и частей котлов высокого давления. Инструментальная сталь, приготовленная с добавлением М., менее хрупка, чем вольфрамовая сталь, и лучше выдерживает холодную обработку. Обычно М. добавляют к стали в виде железной или марганцевой лигатуры (с 50—75% Mo) или в виде молибдата кальция. Мостовые фермы из молибденовой стали с годами становятся тверже, так что с трудом берутся сверлом. Молибден, сплавленный с вольфрамом, дает сплав, который может служить заменителем платины. Новый кислотоупорный сплав состоит из 35% Fe, 65% Cr и 5% Mo. Сплав М. с хромом и кобальтом, т. н. стеллит, применяется для изготовления инструментов высокой твердости. Тройной сплав состава: 30÷35% Cr + 60÷65% Ni + 2÷5% Mo с небольшой прибавкой Ag нерастворим даже в царской водке и может служить для изготовления химич. аппаратуры (о сплавах М. подробнее см. *Спр. ТЭ*, т. II). В электротехнике М. применяется в аппаратах, имеющих накаленный катод,—гл. обр. в электронных лампах; раньше он служил также материалом для нитей калильных ламп. При изготовлении пирометров для высоких $t°$ применяется сплав из 75% W + 25% Mo, имеющий $t°_{пл.}$ выше 3 000°; этот сплав в термопаре с W пригоден для измерения темп-р до 2 700° (см. *Магнитные материалы*). Производство изделий из чистого М. выполняется по методам, применяемым при производстве *вольфрамовой проволоки* (см.) и отличается только $t°$-ным режимом. Кроме того в электротехнике, зубоврачебном и ювелирном деле в последнее время стали заменять дорого стоющую платину металлическим М. Наконец М. входит в состав некоторых катализаторов, применяемых в техническом синтезе аммиака из элементов.

Лит.: Критский В. В., Вольфрам и молибден в электроламповой промышленности, «МС», 1927, *2*; Bordo J. A., Molybdän, «Metallwirtschaft», Berlin, 1928, B. 7, *3*; Earldley-Wilmot V. L., Molybdenum Metallurgy, Uses and the Occurence, Mining a. Concentration of Its Ores, Canada, Ottawa, 1925; Pokorny E., Molybdän, Monographien über chem.-techn. Fabrikationsmethoden, hrsg. v. Wohlgemuth, Halle a/S, 1927, B. 40; Kissock A., Molybdenum, Mineral Industry during 1926, New York, 1927; Molybdenum an American Metal for Alloy-Steel, «Engineering a. Mining Journal, New York, 1928, v. 125, *9*; Phillipson B. F., Molybdenum, ibid. 1928, v. 125. **Т. Алексеенко-Сербин.**

МОЛИБДЕНА СОЕДИНЕНИЯ отличаются чрезвычайным разнообразием; в основе этого лежит способность Mo в широких пределах менять свою валентность (от 2 до 6), образовывать тяжелые молекулы с большим числом атомов Mo и наконец резко выраженная склонность Mo к комплексообразованию. Известны соединения двух- (?), трех-, четырех-, пяти- и шестивалентного Mo; из них наиболее важными являются производные Mo^{VI} — кислотный окисел MoO_3, молибденовые кислоты и соли этих кислот. Молекулярная структура М. с. определена с достоверностью лишь для некоторых наиболее простых по составу представителей.

Окислы Mo и их гидраты. Окислы Mo образуют следующий ряд: MoO(?), Mo_2O_3, MoO_2, Mo_2O_5(?), MoO_3. Они довольно легко переходят друг в друга при реакциях окисления и восстановления; кроме того они способны к сочетанию между собою, с образованием более сложных окислов. Двуокись молибдена, MoO_2 — бурый порошок или красно-фиолетовые металлически-блестящие кристаллы моноклинной системы, нерастворимые в воде. Уд. в. 4,5—6,4. Вещество неплавко и нелетуче при высоких $t°$; щелочи и к-ты (за исключением HNO_3) не действуют на него даже при нагревании. При накаливании на воздухе или кипячении с азотной кислотой MoO_2 окисляется в MoO_3. Для получения MoO_2 исходят из трехокиси MoO_3 (см. ниже), которую восстанавливают в токе чистого водорода при $t°$ не выше 500°, либо же из молибдата аммония — многочасовым сплавлением его с поташом и борной к-той, после чего растворимые вещества удаляют выварной плава в воде. MoO_2 применяется для получения металлического молибдена (электролитич. или алюминотермич. путем, либо восстановлением цинком или кальцием); вследствие нелетучести MoO_2 эти высокотемпературные процессы протекают (в противоположность MoO_3) без потерь Mo. Предлагалось также применять MoO_2 для изготовления калильных нитей электроламп и как катализатор в органич. синтезах.

Трехокись молибдена, молибденовый ангидрид, MoO_3, часто называемый также молибденовой кислотой,—наиболее устойчивое и технически важное из М. с. Безводный MoO_3—белый или желтоватый порошок, жирный наощупь; уд. вес 4,4; $t°_{пл.}$ 795°; из расплавленного состояния кристаллизуется в ромбич. иглах, уд. вес 4,7; при сильном накаливании возгоняется. Растворимость MoO_3 в воде незначительна: при 15°—0,2 ч., при 80°—0,5 ч. в 100 ч. H_2O; растворы имеют кислую реакцию, вследствие перехода MoO_3 в соответствующие гидраты со свойствами к-т. MoO_3 растворяется в едких ще-

лочах с образованием молибдатов; в к-тах безводная (прокаленная) MoO_3 нерастворима, гидратные формы растворимы. При восстановлении MoO_3 цинком или магнием в кислом растворе образуется полуторная окись молибдена, Mo_2O_3, черного цвета; восстановление водородом при нагревании дает MoO_2 и далее металлич. Mo; при действии хлора на MoO_3 получаются хлорокиси. MoO_3 образует многочисленные гидраты, из которых лишь немногие изучены. Дигидрат состава H_4MoO_5 (или $MoO_3 \cdot 2\,H_2O$) образуется в виде желтого кристаллич. осадка при долгом стоянии растворов молибдата аммония. В вакууме или при нагревании с водой до 70° он теряет 1 молекулу H_2O и переходит в моногидрат—нормальную молибденовую кислоту, H_2MoO_4 (или $MoO_3 \cdot H_2O$), кристаллизующуюся в мелких бесцветных иглах, мало растворимых в холодной воде и заметно растворяющихся в горячей. Кроме этого MoO_3 дает целый ряд полимолибденовых кислот общего вида $x\,MoO_3 \cdot y\,H_2O$. Из растворов молибдатов при подкислении и осторожном выпаривании получается коллоидальная молибденовая к-та—аморфная гигроскопич. масса, легко растворимая в воде. Продажная молибденовая к-та (техническая) также является гидратной формой и кроме того почти всегда содержит аммиак; ее состав чаще всего отвечает формуле $NH_3 \cdot 3\,MoO_3 \cdot 0{,}5\,H_2O$; под названием чистой молибденовой кислоты выпускается обычно ангидрид MoO_3. Молибденовая кислота легко образует комплексные соединения с другими кислотами, например фосфорной (см. ниже), мышьяковой, борной, органич. оксикислотами и т. д. При действии перекиси водорода на молибденовую к-ту образуется надмолибденовая кислота, $H_2Mo_2O_8$, дающая раствор темнооранжевого цвета, из к-рого выпариванием в вакууме м. б. получен твердый кристаллогидрат, $H_2Mo_2O_8 \cdot 4\,H_2O$, разлагающийся при нагревании выше 100°.

Получение MoO_3 является промежуточной операцией при переработке молибденовых руд (гл. обр. молибденита MoS_2) на металлич. Mo или на молибдаты (см. *Молибден*). Переработка высокопроцентных концентратов MoS_2 относительно проста и сводится к следующим операциям: руду подвергают окислительному обжигу ($MoS_2 \rightarrow MoO_3$), затем растворяют при нагревании в избытке аммиака, прибавляют $(NH_4)_2S$ для осаждения примеси тяжелых металлов, фильтруют, упаривают и кристаллизуют т. н. парамолибдат аммония, $3\,(NH_4)_2MoO_4 \cdot 4\,MoO_3 \cdot 4\,H_2O$; последний очищают повторной кристаллизацией и разлагают азотной к-той или нагреванием до 600—700°. При более бедных рудах, сильно загрязненных посторонними металлами, методика производства усложняется. В этих случаях выгоднее применять кислую обработку руды—выпаривание с конц. серной к-той или, еще лучше, сплавление с бисульфатом натрия ($NaHSO_4$); для связывания SiO_2 добавляются Ca-содержащие флюсы. Плав измельчают, выщелачивают избытком воды и выпаривают досуха с добавкой HNO_3. Для более полной очистки сырую MoO_3 снова переводят в MoS_2 (действием Na_2S), обжигают, прокаливают в смеси с NH_4Cl и HCl (удаляется мышьяк в виде $AsCl_3$) и промывают водой. Молибденовую к-ту, свободную от NH_3, готовят через молибдат калия, который затем разлагают азотной к-той. Химически чистый препарат MoO_3 получается прокаливанием многократно перекристаллизованного молибдата аммония. Почти вся добываемая MoO_3 расходуется в производстве металлического молибдена и солей молибденовой к-ты. Сама молибденовая к-та (гидратная форма) была предложена как катализатор при синтезе альдегида из ацетилена.

Синяя окись молибдена, молибденовое индиго—продукт непостоянного состава, образующийся при обработке растворов или суспензий молибденовой к-ты восстановителями или при нагревании MoO_3 в автоклаве с водой и металлич. Mo. Темно-синий, почти черный порошок, в воде легко дающий коллоидные растворы; средний состав его отвечает ф-ле $Mo_2O_5 \cdot 3\,MoO_3 \cdot 6\,H_2O$. Готовится обычно нагреванием молибдата кальция с конц. HCl до растворения соли и прибавлением тростникового сахара или глюкозы к кипящему раствору. Чистая коллоидная форма получается из молибдата аммония обработкой H_2S и диализом; она осаждается электролитами, но легко растворяется снова в чистой воде. Щелочами и конц. серной к-той синяя окись разрушается; при нагревании выше 100° она распадается на MoO_2 и MoO_3 и вновь образуется из них при охлаждении. Синяя окись Mo применяется как керамич. краска и как пигмент для резины; ранее применялась в качестве красителя для тканей (молибденовый синий, минеральное индиго). Кроме того как синяя окись, так отчасти и другие окислы молибдена (MoO_3 и MoO_2) могут служить окислительными, дегидрирующими и дегидратирующими катализаторами; техническое использование их возможно при синтезе синильной кислоты, при получении аминов из спиртов и т. д.

Фосфорномолибденовая кислота $H_3PO_4 \cdot 12\,MoO_3 \cdot 12\,H_2O$, желтые кристаллы правильной или ромбич. системы, $t°_{пл.}$ 140°; растворима в воде и в эфире; трехосновная к-та. Для ее получения растворяют молибдат аммония в разбавленной HNO_3 и осаждают раствором аммонийфосфата; выпавший осадок фосфорномолибденовокислого аммония обрабатывают раствором соды, выпаривают досуха, прокаливают и кристаллизуют из воды. Вследствие способности давать осадки с алкалоидами, эта к-та (азотнокислый раствор) служит в анализе реактивом для открытия алкалоидов, а в фармацевтич. промышленности—для их выделения и очистки.

Соли молибденовых кислот (молибдаты) могут отвечать как нормальной к-те H_2MoO_4, так и всем остальным гидратным формам. Продажный молибденовокислый аммоний является солью полимолибденовой кислоты и имеет обычно состав парамолибдата $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4\,H_2O$ (или $3\,(NH_4)_2MoO_4 \cdot 4\,MoO_3 \cdot 4\,H_2O$). Крупные, устойчивые на воздухе призматич. кристаллы, бесцветные или голубоватые, часто с

характерной полосатостью, легко растворимые в воде и в азотной к-те. При окислении H_2O_2 дает оранжевую соль надмолибденовой кислоты, разлагающуюся при 105°; при восстановлении по Паалю (водородом в присутствии коллоидного Pd) переходит сначала в неустойчивый гидрат $Mo(OH)_4$, а затем в $Mo(OH)_3$. Растворяясь в избытке аммиака, превращается в нормальный молибдат $(NH_4)_2MoO_4$, который м. б. высажен из раствора спиртом: моноклинные призмы, уд. в. 2,27, на воздухе и в растворах теряющие NH_3 и переходящие в полимолибдат. В технике молибдат аммония получают из трехокиси MoO_3, к-рую взмучивают в воде и в суспензию пропускают аммиак; полученный раствор фильтруют, выпаривают и перекристаллизовывают продукт. В СССР молибдат аммония вырабатывается с 1926 г. на опытной станции Горно-химич. треста из готового ферромолибдена: последний окисляют прокаливанием в печи при $t°$ 600—800° и выщелачивают разбавленным водным аммиаком; за 1926/27 г. этим методом было получено ок. 1 700 *кг* соли. Молибдат аммония—важнейший из продажных препаратов Mo; он применяется гл. обр. как реактив на фосфорную кислоту (особенно при анализе черных и цветных металлов). Молибдаты натрия: Na_2MoO_4 ($t°_{пл.}$ 687°) и $Na_6Mo_7O_{24}\cdot 22\,H_2O$ и молибдаты калия: K_2MoO_4 ($t°_{пл.}$ 926°), $K_2Mo_3O_{10}$ и $K_6Mo_7O_{24}\cdot 4\,H_2O$ — бесцветные кристаллич. вещества, растворимые в воде. Парамолибдаты Na и аммония применяются в керамич. глазурях (для окрашивания в синий цвет, основанного на превращении в синюю окись Mo); совместно с таннином их иногда употребляют в протравном крашении тканей; соль Na использовалась как антисептическое средство. Молибдаты Na, K, Rb, Cu, Ag и Ba предложены в качестве катализаторов при синтезе $CH_3\cdot OH$ и других органических соединений из водяного газа. Предложения использовать молибдаты в производстве красок для полиграфии и чернил повидимому не получили промышленного применения. Молибдаты кальция: нормальный молибдат, $CaMoO_4$, встречается в природе (минерал повеллит); $CaMoO_4\cdot 3\,MoO_3\cdot 9\,H_2O$ (аморфный) и $CaMoO_4\cdot 2\,MoO_3\cdot 6\,H_2O$ (кристаллический) получаются кипячением MoO_3 с известковым молоком или прокаливанием смеси MoO_3 с известью. Технич. молибдат Ca за последнее время получил широкое применение в металлургии, где он вводится вместо металлич. Mo при получении молибденовой стали и ферромолибдена (CaO при плавке переходит в шлак, а MoO_3 восстанавливается); частично он перерабатывается также на чистый молибден (алюминотермическим или электролитическим путем). Для тех же целей применяется также и молибдат магния. Молибдат свинца, $PbMoO_4$—природный вульфенит (см. *Молибденовые руды*).

Галоидные соединения Mo могут содержать 2, 3, 4, 5 и 6 атомов галоида на 1 атом Mo. Двухлористый молибден, $MoCl_2$ (или Mo_3Cl_6), желтого цвета, растворим в спирте и в конц. HCl, при накаливании возгоняется. Трехлористый молибден, $MoCl_3$—темнокрасный, разлагается при нагревании. Четырехлористый молибден, $MoCl_4$—коричневого цвета, $t°_{пл.}$ 194°, $t°_{кип.}$ 268°. Пятихлористый молибден, $MoCl_5$, зеленовато-черные кристаллы с металлич. блеском, $t°_{пл.}$ 194°, $t°_{кип.}$ 268° (пары темнокрасного цвета). Растворяется в спирте, эфире, в конц. HCl, HNO_3 и H_2SO_4; водою быстро разлагается; во влажном воздухе переходит в хлорокись Mo. Получается путем хлорирования Mo, его двуокиси MoO_2 или сульфида MoS_2 газообразным хлором при нагревании. $MoCl_5$ применяется как катализатор при хлорировании органич. соединений; он предлагался также как исходный материал для получения чистого Mo при производстве металлич. нитей для электроламп. Все хлориды Mo легко разлагаются водой, образуя при этом ряд хлороксидей: MoO_2Cl_2 (светложелтая), $MoOCl_4$ (зеленая), $Mo_2O_3Cl_6$ (фиолетовая). При действии газообразного HCl на MoO_3 образуются аналогичные хлоргидраты—$MoO_2(OH)Cl$ и $MoO(OH)_2Cl_2$. Из соединений Mo^{VI} известен шестифтористый молибден, MoF_6—бесцветные летучие кристаллы с $t°_{пл.}$ 17° и $t°_{кип.}$ 35°.

Сульфиды Mo образуют ряд: MoS_2, MoS_3 и MoS_4 (?). Двусернистый молибден, MoS_2—темносерого цвета, уд. в. 4,6—4,8; растворяется только в царской водке. В виде природного молибденита (см. *Молибденовые руды*) он является важнейшим сырьем для получения Mo и М. с.; применяется также в радиотехнике для изготовления детекторов. Трехсернистый молибден, MoS_3, получается в виде бурого осадка при продолжительном пропускании H_2S в подкисленные растворы молибдатов (реакция используется в анализе М. с.). При накаливании на воздухе MoS_3 переходит в MoO_3, без доступа воздуха—в MoS_2; растворяется в сернистых щелочах, образуя красные тиосоли состава $MeMoS_4$ (Me—щелочной металл).

Карбиды Mo (о существующих типах их см. *Карбиды*) образуются при накаливании MoO_2 или MoO_3 в присутствии углерода. Карбид состава Mo_2C (светлосерые кристаллы) обладает исключительно высокой твердостью, открывающей ему возможности технич. применения, напр. в инструментах для обработки металлов. Твердость молибденовой стали обусловливается содержанием в ней двойного карбида Mo и Fe; вероятный состав его—$Mo_2C\cdot Fe_3C$.

Силициды Mo—$MoSi_2$, MoSi и др.—содержатся в кислотоупорных молибденовокремниевых сплавах; образуются из Mo и Si при $t°$ выше 1 000°. Вполне устойчивы (особенно $MoSi_2$) по отношению к минеральным к-там, в том числе к плавиковой к-те и царской водке; разъедаются только смесью HNO_3+HF. Применяются они при выплавке специальных сталей, как источник Mo.

Аналитическое определение Mo в М. с. А. Для качественного открытия Mo в молибдатах служат следующие реакции. 1) При выпаривании с каплей H_2SO_4 на Pt-пластинке—синее окрашивание. 2) При действии H_2O_2—оранжевое или краснобурое окрашивание раствора. 3) При восстановлении в кислом растворе цинком или $SnCl_2$ (еще лучше—сульфатом гидразина) получается темносинее окрашивание (образование иона Mo^{***}). 4) Действие цинка в кислом растворе в присутствии KCNS—красное окрашивание. 5) С подкисленным раствором ксантогената калия в спирте—интенсивное красно-фиолетовое окрашивание, к-рое через 1—2 ч. переходит в синее (присутствие оксикислот мешает реакции); эта проба особенно пригодна при анализе сплавов. 6) Микрореакция с насыщенным раствором уксуснокислого пирокатехина в присутствии анилина или пиперазина: оранжевый кристаллич. осадок.

Б. Количественное определение. 1) Весовое: из раствора молибдата осаждают трисульфид MoS_3 (действием H_2S в кислой среде или обработкой Na_2S с последующим подкислением), переводят его прокаливанием (не выше 425°) в MoO_3 и взвешивают. 2) Объемное: восстанавливают молибдат цинком в сернокислом растворе при нагре-

вании, после чего титруют раствором $KMnO_4$ или иодом ($Mo^{III} \rightarrow Mo^{VI}$). 3) Колориметрическое—по интенсивности окраски, получающейся при окислении молибдата при помощи H_2O_2 в присутствии щелочи (вследствие образования солей надмолибденовой кислоты); можно также определять Мо колориметрически по вышеуказанному методу (см. выше—п. А, 5) с ксантогенатом. При анализах стали и сплавов пробу предварительно растворяют в HCl или царской водке, выпаривают и извлекают аммиаком или NaOH.

Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, 9 изд., гл. 21 и дополн. к ней, М.—Л., 1928; Годовой обзор минеральных ресурсов СССР за 1926/27 г., стр. 619, Л., 1928; Меерсон Г., «Журнал прикладной химии», М.—Л., 1929, т. 2, стр. 113 (переработка руд); Хаинский А. И., «Труды комиссии сырья», П., 1916, вып. 1 (производство молибдата аммония); Гарнак А. С., «ЖХП», 1929, т. 7, стр. 534 (то же); Ephraim F., Anorganische Chemie, 4 Aufl., Dresden—Lpz., 1929 (химия М. с.); Pokorny E., Molybdän, Monographien über chemisch-technische Fabrikationsmethoden, hrsg. v. L. Wohlgemuth, Halle a/S., 1927, B. 40; Gillet H. W. a. Mack E. L., Molybdenum, Cerium a. related Alloy Steels, New York, 1925; Mennicke H., Die quantitative Untersuchungsmethoden d. Molybdäns, Vanadiums u. Wolframs, Berlin, 1913; «Metallbörse», Berlin, 1929, Jg. 19, *34*, p. 932 (переработка руд); Dyson M., «Chemical Age», L., 1928, v. 18, *453*, *462* (то же); «Engineering a. Mining Journ. Press», New York, 1917, v. 104, p. 297 (сводка аналитич. реакций на Мо). См. также *Молибден* и *Молибденовые руды*.

В. Янковский.

МОЛИБДЕНА СПЛАВЫ, см. *Молибденовая сталь.*

МОЛИБДЕНОВАЯ СТАЛЬ, специальная сталь с большей или меньшей добавкой молибдена, получившая нек-рое распространение в последние 15—20 лет, особенно в США. Она приготовляется преимущественно в электрич. печах или в тигельных горнах (но не в мартеновской печи, где Мо окисляется) присадкой к углеродистой стали ферромолибдена. Количество вводимого в сталь Мо колеблется от 0,2—0,3% до 5—6%. При малых содержаниях С и Мо (С—0,2÷0,4%; Мо—0,2÷1,2%) М. с. применяется как машино-поделочная и конструкционная; при более высоких содержаниях их (С—0,6÷1,2%; Мо—3÷5%)—как инструментальная и для постоянных магнитов. В М. с. первого типа присутствие Мо сказывается изменением характера перлита, к-рый становится тонкораздробленным, сорбитообразным; такое же тонкое строение наблюдается и в мартенсите после закалки М. с., а также в троостите и сорбите после отпуска. Указанное тонкое строение структурных элементов сообщает М. с. высокие механич. качества: предел упругости = 45÷85 *кг/мм²*; временное сопротивление на разрыв = 75÷100 *кг/мм²*; удлинение = 12—20%; сужение поперечного сечения = 45—60%. Ударное сопротивление М. с., ее сопротивление износу и твердость тоже оказываются значительно повышенными по сравнению с углеродистой сталью. Поэтому М. с. этого типа часто применяется в автомобиле- и авиастроении для пружин, зубчатых передач, поршневых штоков и других машинных частей. В М. с. второго типа уже при содержании С, равном 0,6÷0,7%, наблюдаются «двойные карбиды», истинная природа к-рых не вполне выяснена. Они переходят в твердый раствор только после нагрева выше определенного $t°$-ного интервала, называемого интервалом «понижающих» $t°$. После такого нагрева эвтектоидное превращение происходит уже при пониженной $t°$ (500—600°) и совершается не полностью, в результате чего получается мартенситовая или трооститовая структура и сталь приобретает характер самозакаливающейся. При ускоренном охлаждении такой стали от «понижающих» $t°$ в результате получается аустенитовая структура.

М. с. как инструментальная не имеет никаких преимуществ перед другими специальными сталями—хромовой, вольфрамовой и хромовольфрамовой быстрорежущей; поэтому применение ее в этой области очень ограничено. Для постоянных магнитов М. с. широко применялась до самого последнего времени вследствие высоких значений для нее остаточного магнетизма и коэрцитивного напряжения; но в этой области М. с. теперь вытесняется кобальтовой сталью и сплавами, для к-рых указанные свойства еще выше. М. с. часто содержит заметные количества других специальных добавок—Ni, Cr, W, V; в этом случае отделить влияние на сталь Мо от влияния других специальных примесей становится невозможным.

Лит.: Бабошин А., Металлография и термич. обработка железа, стали и чугуна, ч. 3—4, Л.—М., 1917—26; Mars G., Die Spezialstähle, 2 Aufl., B., 1922; Rapatz F., Die Edelstähle, Berlin, 1925; «Journ. of the Iron a. Steel Inst.», London, 1921, v. 2, p. 141, 1923, v. 1, p. 217; «Revue Universelle des Mines», Bruxelles, 1922, p. 159; «American Society of Steel Treating», New York, 1922, v. 2, p. 769, 1924, v. 5, p. 571, 1925, v. 8, p. 681; «Ztschr. für Metallkunde», Berlin, 1923, B. 15, p. 251; «Archiv für Eisenhüttenwesen», Düsseldorf, 1928, p. 785.

М. Окнов.

МОЛИБДЕНОВЫЕ РУДЫ, минералы, содержащие молибден в количествах, допускающих рентабельность его извлечения. В табл. 1 приведены молибденсодержащие минералы. Молибденит, или молибденовый блеск, является главной рудой на молибден, который в самородном виде в природе не встречается. Хим. состав молибденита—MoS_2; содержание Мо—59,96%. В природе он встречается в виде тонких мягких листочков или в виде шестиугольных пластинок, а иногда зернистой массой. Система гексагональная. Цвет свинцово-серый, блеск металлический. Тв. 1—1,5; уд. вес 4,7—4,8. Черта синевато-серая. Молибденит представляет собой типичный минерал пневматолиза, образуется при высокой $t°$ и высоком давлении. Генетически молибденит связан с кислыми изверженными породами—гранитами, пегматитами и сиенитами. Лишь незначительная часть месторождений молибденита встречается в метаморфических, осадочных и основных изверженных породах. Спутниками молибденита в месторождениях являются касситерит (оловянный камень), вольфрамит, медный и серный колчеданы и другие сульфиды. Обычно концентрация М. р. в

Табл. 1. — Молибденсодержащие минералы.

Наименование	Химич. состав
Молибденит	MoS_2
Вульфенит	$PbMoO_4$
Молибдит	$Fe_2O_3 \cdot 3MoO_3 \cdot 7H_2O$
Повеллит	$CaMoO_4$
Ильземаннит	$MoO_3 \cdot 4MoO_3$
Белоназит	$MgMoO_4$
Патсраит	$CoMoO_4$
Ахрематит	$3(3Pb_3As_2O_8 \cdot PbCl_2)4(PbMoO_5)$
Эозит	$Pb_3V_2MoO_{16}$

породе незначительная (0,5—5% MoS_2). Из остальных М. р. после молибденита следует упомянуть вульфенит (желтая свинцовая руда), имеющий промышленное значение. Кроме молибденита, затем вульфенита, остальные минералы встречаются очень редко и в незначительных скоплениях.

Наиболее значительные месторождения М. р. находятся в США (всего более 300 месторождений): в штатах Колорадо, Аризона, Новая Мексика, Калифорния, Монтана, Вашингтон. Кроме того в Канаде известно более 100 месторождений (Квебек, Онтарио и т. д.). Довольно крупные скопления М. р. находятся и в Австралии (Новый Южный Уэлс, Тасмания, Южная Австралия, Западная Австралия, Квинсленд). Из европ. месторождений наиболее крупными обладает Норвегия. Менее значительные залежи М. р. встречаются в Ю. Америке, Индии, Корее, Японии, Англии, Германии, Швеции и т. д. Из месторождений нашего Союза особенно выделялись три, представляющие промышленный интерес: Гутайское в Забайкалье (среднее течение реки Чикоя, наиболее важное месторождение), Джигит-Пластунское в б. Приморской области и Шуезерское в Архангельском районе (б. Кемский уезд). В других довольно многочисленных месторождениях молибденита и вульфенита скопления их незначительны.

Наибольшего расцвета добыча М. р. достигла в период войны 1914—18 гг. В период 1921—22 гг. добыча почти совсем замерла; начиная же с 1923 г. замечается ее восстановление; главн. образ. она сосредоточена в США и в Норвегии. Небольшая добыча м. б. отмечена в Австралии, Канаде и Австрии. Эксплоатация М. р. производится взрывными работами в открытых и подземных разработках. Полученная руда подвергается механич. обогащению. За последнее время введен флотационный метод обогащения, дающий наиболее совершенные результаты. В настоящее время применяются три способа флотационного обогащения молибденита: флотация в аппарате Минералс-Сепарейшен, процесс в аппаратах Вуда и Эльмор-вакуум-процесс (масляное обогащение). Молибденовые концентраты поступают для производства ферромолибдена. Молибден при обработке нагревается в угольной трубке при значительном расходе тока. Обработка может производиться также алюмо-термическим способом, дающим продукт, свободный от углерода, но с примесью небольшого количества силиката и 1—2% железа. Наиболее чистый металл получается при восстановлении окиси молибдена водородом (99,95% Mo). Этот способ применяется наиболее часто в Америке.

Главными потребителями молибденовых концентратов и их продуктов являются США, Англия, Германия, Франция—вообще страны с крупной металлургич. промышленностью. Мировое производство концентратов указано в табл. 2.

Рыночные цены на молибденовые концентраты все время колебались и достигли наивысшего предела во время войны 1914—18 гг. (2 долл. за фн.). После войны цены упали до 40—55 центов за фн.

Табл. 2.—Мировое производство концентратов (в *m*).

Страны	1913 г.	1923 г.	1924 г.	1925 г.	1926 г.	1927 г.
СССР	—	—	—	—	4	4
Германия	91	—	—	—	—	—
Норвегия	9	39	79	120	145	—
Швеция	—	—	—	20	6	—
Испания	40	—	—	—	—	—
Италия	—	1	1	—	1	—
Австрия	—	51	15	13	27	—
Югославия	13	—	1	—	—	—
Канада	—	—	9	14	11	—
США	—	10	135	1077	—	—
Мексика	—	2	4	1	—	—
Перу	—	2	—	—	0,2	—
Чили	2	—	—	—	—	—
Китай	—	15	—	—	—	—
Корея	4	—	—	54	41	—
Австралия	147	70	43	44	43	—

Лит.: Критский В. В., Вольфрам и молибден в электроламповой промышленности, «МС», 1927, 2; Макарова Н. К., Молибден, Годовой обзор минеральных ресурсов СССР за 1925/26 г., Л., 1927, Прокопенко Н. М., Молибден, «НИ», 1929; т. 4 (имеется лит.); Смольянинов Н. А., Пластунское месторождение молибденового блеска на Дальнем Востоке, «МС», 1927, 9; Тетяев М. М., Вольфрамовые и оловянные месторождения Онон-Борзинского района в Забайкальской области, Приложение—Гутайский молибденовый рудник на Чикое, «Материалы общей и прикладной геологии», П., 1918, вып. 32; Федоровский Н. М., Минералы в промышленности и сельском хозяйстве, 2 изд., Л., 1927; Earldley-Wilmot V. L., Molybdenum Metallurgy, Uses a. the Occurence, Mining a. Concentration of Jts Ores, Canada, Ottawa, 1925; Pokorny E., Molybdän, Monographien über chemisch-technische Fabrikationsmethoden, hrsg. v. L. Wohlgemuth, Halle a/S., 1927, B. 40. **Н. Федоровский.**

МОЛОКО, пищевой продукт, получаемый из молочных желез млекопитающих, содержащий в себе все необходимые элементы для питания новорожденных животных; главнейшие составные части его: белковые вещества, жир, молочный сахар и минеральные соли (зола). Белки представлены: *казеином* (см.), легко свертывающимся от действия органич. и неорганич. к-т, но не свертывающимся от высокого нагревания, и *альбумином* (см.)—растворимым белком, свертывающимся при сильном нагревании, но не выпадающим от действия к-т. Казеин створаживается от действия сычужного фермента—экстракта из сычуга; альбумин этому действию не подвергается, поэтому при сыроделии он остается в сыворотке. Кроме того в М. заключается небольшое количество глобулина (см. *Белковые вещества*). Жир в М. заключается в виде микроскопически малых шариков величиною от 1 до 10 μ (редко больше), в среднем 2÷3 μ. Шарики эти, по мнению нек-рых ученых, окружены белковой оболочкой, другие ее отрицают и полагают, что за оболочки принимается белковое окружение, концентрированное вокруг шариков в силу поверхностного натяжения. В таком крайне мелко распыленном (эмульсированном) виде молочный жир весьма легко усвояется и всасывается кишечником новорожденных животных. Содержание в М. жира в отличие от других составных частей, содержание к-рых мало изменяется, сильно колеблется под влиянием различных обстоятельств: породы животных, лактационного периода, содержания воды в корме и т. д.; в зависимости от корма изменяются консистенция и вкусовые качества жира. Молоч-

ный сахар обусловливает присущий М. сладковатый вкус. Он играет видную роль в питании молодого организма животных—как легкоусвояемый углевод и как возбудитель молочной кислоты, под действием к-рой происходит свертывание казеина и получение творога, сырной массы, технического казеина и пр. Молочный сахар, подвергаясь действию соответственных микроорганизмов (дрожжей), дает спиртовое брожение с образованием углекислого газа (кумыс, отчасти кефир). Минеральные соли (зольные составные части) М. при выпаривании и сжигании его получаются в виде белой золы, состоящей из тех минеральных солей, к-рые нужны для правильного питания и образования костяка молодых животных; главнейшие из них—соли фосфора, кальция, калия и др. Недостаток ничтожных долей этих солей приводит к расстройству пищеварения у молодых организмов и понижает качество молочных продуктов, в особенности сыра. Исследования автора показали, что прибавка сотых долей % фосфорнокальциевой соли изменяет качества швейцарского сыра, приближая его по вкусу и аромату к альпийскому сыру. Недостаток фосфора и извести в молоке матерей часто служит причиной расстройства пищеварения у детей. Состав М. весьма колеблется в зависимости от различных факторов—пищи, породы скота, лактационного периода, влажности или сухости почвы и пр. Нормальный средний химический состав и уд. в. молока различных животных приведены в таблице.

Нормальный состав в % и удельный вес М.

Молоко	Вода	Жир	Казеин	Альбумин и глобулин	Молочн. сахар	Зола	Сухие вещества	Уд. вес
Женское	87,41	3,78	1,03	1,26	6,21	0,31	12,59	1,027
Коровье Европ. части СССР	86,50	4,20	3,00	0,60	4,70	0,70	13,20	1,032
» сибирское	85,17	4,57	3,97	0,78	4,77	0,74	14,83	1,031
» других стран	87,65	3,40	3,00	0,40	4,80	0,75	12,35	1,032
Овечье СССР	82,13	7,65	5,10	0,56	3,56	0,90	17,87	1,035
» других стран	81,82	6,86	4,97	0,55	4,91	0,89	19,18	—
Козье	85,71	4,78	3,20	1,09	4,46	0,76	14,29	—
Буйволицы	81,41	7,47	5,85	0,25	4,15	0,87	18,59	—
Ослицы	89,64	1,64	0,67	1,55	5,99	0,51	10,36	—
Кобылье	90,06	1,09	1,89		6,65	0,31	9,94	—
Верблюдицы	86,57	3,07	4,00		5,59	0,77	13,43	—
Свиньи	84,04	4,55	7,23		3,13	1,05	15,96	—
Ламы	86,55	3,15	3,00	0,90	5,60	0,80	13,45	—
Собакии	75,44	9,57	6,10	5,05	3,09	0,93	24,56	—
Кошки	81,63	3,33	3,12	5,96	4,91	0,53	18,37	—
Слонихи	67,85	19,57	3,09		8,84	0,65	32,15	—
Бегемотихи	90,43	4,51	0,55		4,51		9,57	—
Морской свинки	41,11	45,80	11,19		1,33	0,57	58,89	—

Микроорганизмы в М. В молочной железе М. совершенно стерильно, т. е. свободно от микроорганизмов, но с какими бы предосторожностями оно ни было выдоено, оно всегда содержит некоторое количество грибков и бактерий. Нек-рые из этих микроорганизмов полезны и даже необходимы для приготовления молочных продуктов, другие безразличны, третьи безусловно вредны, так как они или вызывают закисание (свертывание) М. или же являются носителями различных заразных болезней человека и животных (туберкулез, сибирская язва, ящур и др.). Среди полезных микроорганизмов особое место принадлежит молочнокислой бактерии, без к-рой не существовали бы такие молочные продукты, как простокваша, варенец, сметана, творог, экспортное масло, сыры и целебные напитки (кефир, кумыс, айран и пр.). Далее при известных условиях являются полезными и необходимыми некоторые грибки (дрожжи), напр. для приготовления кумыса, кефира, сыра и пр. Полезность или вредность микроорганизмов—понятие условное: в одних случаях их присутствие необходимо, в других нежелательно.

Молочные продукты. Предохранение М. от порчи достигается двумя противоположными путями: либо охлаждением, либо нагреванием до высокой $t°$; первое имеет целью задержать развитие микроорганизмов, второе—уничтожить их. Охлаждение, не убивая микроорганизмов в М., задерживает лишь рост их и процессы разложения составных частей молока, а следовательно и порчу его. Но для этой цели охлаждение д. б. произведено возможно быстро, тотчас же после доения и до определенной низкой $t°$; при этом самое доение д. б. обставлено возможно гигиенично. Пастеризация имеет целью убить населяющие М. микроорганизмы и тем сделать его более прочным. Кипячением бактерии были бы убиты, но тем самым М. был бы сообщен привкус «топленого», что большинством потребителей отвергается; поэтому нагревание доводят лишь до 63—90°, когда живые формы микробов погибают, остаются лишь их споры (зародыши), прорастание к-рых задерживается последующим немедленным охлаждением. Чем выше $t°$ нагревания М., тем процесс длится короче; так, обычная пастеризация (85—90°) длится около 2 мин., при нагревании же до 63—65° требуется 30 мин. Последний способ длительной пастеризации входит в употребление в последнее время. Стерилизованное М. получается нагреванием М. выше $t°_{кип.}$, сохраняется оно в герметически закупоренных бутылках или запаянных жестянках. Такое М. может сохраняться неопределенно долгое время, и если закупорка действительно герметична, то со временем заметно лишь отстаивание. Сильно сгущенный от долгого хранения отстой трудно затем разбить в такую тонкую массу, какая требуется для кормления детей. Поэтому молоко, предназначенное для стерилизации, предварительно гомогенизируют. Для того чтобы помешать жировым шарикам всплывать на поверхность М. и образовывать сливки, Голен построил специальную машину—гомогенизатор, назначение к-рого—разбить жировые шарики на столь малые частицы, чтобы они не могли отстаиваться. Гомогенизированное М., представляющее более тонкую эмульсию, по характеру свертываемости под действием желудочного сока ближе подходит к женскому и легче усваивается детским кишечником, чем обыкновенное коровье. Гомогенизированное М., одновременно стерилизованное, продается в герметически закупоренных бутылочках. Газированное М., представляет собой М. насыщенное углекислотой (предложено С. П. Боткиным); газированное М. имело довольно успешное применение как диэтич. средство. При отовляется оно совершенно так же, как газированные воды, — простым пропусканием через молоко углекислого газа.

Тощее М. бывает двух видов: снятое, получаемое отстаиванием, и сепарированное, получаемое посредством сепаратора. Тощее М. отличается от цельного лишь меньшим содержанием жира, прочие же составные части остаются не в уменьшенном, а скорее в относительно увеличенном количестве. Существует определенное предубеждение против такого М., между тем питательные достоинства его очень высоки и введение его в повседневное употребление как ценного, вкусного, легко усвояемого напитка весьма желательно; снятое молоко, охлажденное до 10° и ниже, приобретает густоту, приближающую его к цельному, и такое М. в жаркое время года является вкусным, освежающим напитком. Общее количество сухих веществ в тощем молоке составляет 9,5—10%, из к-рых жира содержится: в сепарированном едва 0,1—0,2%, а в отстоенном 0,5—0,7%. Снятое М. с успехом м. б. заквашено на простоквашу и употребляться в сбитом виде как кефир.

Пахта, или пахтанье,—жидкость, остающаяся после сбивания масла. У нас пахта как продукт для непосредственного потребления находится в совершенном пренебрежении, за границей же является не только пищевым продуктом, но и целебным средством, наряду напр. с кефиром. Пахта по своему составу стоит выше снятого молока; если же она получена из-под экспортного масла, то содержит и значительное количество молочной к-ты. Пахту, в особенности кислую, следует ввести в широкое потребление.

Сгущенное (конденсированное) М. является продуктом сгущения (выпариванием) М. до 33—40% его первоначального объема и, как стерильное, будучи герметически закупорено в жестянки, может сохраниться очень долгое время и выдерживать дальнюю перевозку; во время путешествий, в морском плавании, при экспедициях сгущенное М. является незаменимым. Техника приготовления его разработана была во 2-й половине прошлого столетия, и в настоящее время производство его приняло обширные размеры. Стандартный состав его: 28% сухих веществ и не менее 8% жира; растворимость полная, отсутствие крупинок сахара. Производству сгущенного М. предстоит большая будущность: повседневное потребление этого легко сохраняемого, точно дозируемого, транспортабельного, вкусного продукта несомненно должно возрасти, спрос для экспорта и внутри страны теперь уже может обеспечить производство десятка фабрик. Для дальних перевозок и долгого хранения сгущенное М. упаковывают в жестянки, для быстрого же повседневного потребления в городах в США перевозят его в бидонах и продают в разбив.

Сухое М.—продукт дальнейшего продолжения предыдущего производства для придания М. еще большей компактности, транспортабельности, легкого дозирования при производствах печений, конфет и пр. Техника приготовления сухого М. гораздо труднее, чем сгущенного; добиться растворимости сухого М. удалось с трудом. В настоящее время, когда техника уже усовершенствована, производство сухого М. во многих странах увеличивается за счет уменьшения производства сгущенного. Производства сгущенного и сухого тощего М. в последнее время сильно развиваются как подсобные в маслоделии. По существующим на рынке ценам и по высокой питательной ценности (сухое тощее М. содержит около 30% белков и 40% сахара) оба эти продукта всегда в спросе и являются предметом выгодного производства в сочетании с маслоделием.

Детское (материнизированное, гуманизированное) М., нутриция, молоко Гертнера, Бакгауза и др. названия присвоены М., к-рое по своему составу приближается к женскому. Из приведенной выше таблицы видно, что женское М. отличается от коровьего высоким содержанием растворимых белков и сахара и пониженным содержанием казеина. Общепринятый прием подготовки коровьего М. для кормления младенцев—разбавление 1 ч. его 2 ч. воды с прибавлением сахара якобы для приближения его к составу и свойствам женского М. Это—величайшее недоразумение и вредное заблуждение. Такая смесь ни по составу ни по биологич. свойствам не имеет ничего общего с женским М. и почти не усваивается организмом ребенка. Исследования автора показали, что при разбавке коровьего молока более чем 40% воды действие желудочного сока на него почти аннулируется, задерживаясь на 2½—3 часа. Другое заблуждение (но безвредное) касается козьего М., о к-ром пишут, что оно по составу ближе к женскому М., чем М. других животных; между тем это не соответствует действительности, как это видно из упомянутой таблицы. Козье М. по составу больше отличается от женского, чем коровье, но оно ближе к женскому по действию на него желудочного сока: козье, так же как женское М., свертывается мелкими хлопьями, в то время как коровье образует плотный сгусток, труднее перевариваемый детским желудком. На рынке за границей существуют молочные смеси под различными названиями, по составу и по биологическим свойствам близкие к женскому; все они стерильны.

Простокваша раньше была предметом домашнего, потребительского производства и отличалась ничтожной товарностью. Но со времени открытия И. И. Мечниковым болгарской бациллы молочнокислого брожения и установления ее (да и других молочнокислых бактерий) крупной роли в оздоровлении кишечника приготовление простокваши приняло совершенно другой характер: в настоящее время это производство проникло во все концы земного шара, и бактериальная простокваша является предметом крупной торговли. Она приготовляется также в виде таблеток, к-рые или просто глотают для оздоровления кишечника или употребляют в виде закваски для приготовления простокваши. Простокваша приготовляется весьма просто, но при этом требуются безусловно чистое М., доброкачественная закваска и соблюдение определенной $t°$; закваску можно приобрести в бактериологических лабораториях или для этой цели употреблять готовую простоквашу. Закваски берут 5%, растирают (при постепенной прибавке М.) в ровную, однообразную массу, вливают в М., нагретое до 36—40°, размешивают, прикрывают сосуд чистой салфеткой и теплым покрывалом и оставляют на 8—10 ч., в течение к-рых молочнокислое брожение, развиваясь, образует столько кислоты, что казеин набухает и образует плотную массу простокваши; этот момент следует захватить и простоквашу вынести на холод на 10—12 ч., иначе она перекиснет, выделит сыворотку и будет недоброкачественна. Простокваша, приготовленная из топленого М. (с пенками), называется в ареном—продукт мало известный у других народов, но распространенный у русских. Айран—продукт, очень распространенный у юж. жителей. Некоторые под айраном понимают продукт, приготовляемый особой закваской, на самом же деле (Кавказ, Средняя Азия и южные пограничные государства) под этим названием на юге разумеют простоквашу (мацун, катык, кислое молоко), взбитую и разбавленную холодной водой. Иногда же приготовляют айран как особый продукт и употребляют неразбавленным.

Кефир—молочный напиток, приготовляемый преимущественно из коровьего М., в котором при помощи особого бродильного начала или «грибков» вызывается одновременно и молочнокислое и спиртовое брожение. Бактериологическое исследование обнаружило симбиоз бактерий, расщепляющих молочный сахар с образованием молочной к-ты, и дрожжевых грибков, вызывающих образование спирта и углекислого газа. И те и другие живут и размножаются на плотной белковой массе, образующей крупные комья (от булавочной головки до лесного ореха)—то, что обычно принято называть «грибками». Смотря по условиям культуры ($t°$ брожения), можно получить грибки, дающие в результате брожения больше или меньше газа, т. е. шипучий или нешипучий кефир. В конце 19 в. предпочитали шипучий кефир с обильной пеной; в настоящее время его очень мало встречается на рынке. Шипучий кефир требует больше уменья, внимания и соответственной расы грибков. Кефир является ценнейшим диэтич., целебным и освежительным напитком, но лишь в том случае, если он приготовлен хорошо, иначе он может быть и вредным. Удачный кефир, будучи влит в стакан и вылит, оставляет на его стенках налет, к-рый постепенно сходит, образуя на стенках рисунок в виде древовидных проточин. Плохой кефир, с грубыми частицами казеина, быстро стекает со стенок стакана, давая длинные, продольные проточины; хороший, нежный, правильно приготовленный кефир дает налет, который держится не менее 1 мин. и затем стекает, образуя сложный, запутанный рисунок. Кефир потребляется, смотря по предписанию врачей, суточным (молодым), двухсуточным (средним) и трехсуточным и старше (№ 1, 2 и 3).

Кумыс делают обыкновенно из кобыльего М.; употребляют его жители степей, кочевники (не занимающиеся хлебопашеством). Приготовление его крайне просто: в кожаный мешок (бурдюк, саба), где уже находятся остатки старого кумыса, вливают свежее М., завязывают и оставляют до следующего дня, время от времени взбалтывая. К следующему дню кумыс готов, его сливают и пьют, остатки же в бурдюке опять служат закваской для заквашивания свежего молока. К кобыльему М. часто прибавляют коровье, овечье и козье М. Для изготовления кумыса для лечебных целей употребляют только кобылье М., которое дает кумыс с более мелкими хлопьями казеина, содержит больше алкоголя и газа. Микроорганизмы кумыса также изучены. Отличие кумыса от кефира обусловливается различием составов коровьего и кобыльего М.: количество белков в кобыльем М. вдвое меньше, жира вчетверо меньше, а сахара в 1½ раза больше,

чем в коровьем; вследствие этого кумыс содержит больше алкоголя, и хлопья казеина в нем гораздо мельче, чем в кефире; вследствие последнего обстоятельства кумыс усваивается легче, чем кефир.

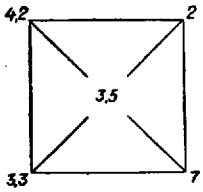
Сливки являются видным молочным продуктом, имеющим как непосредственную рыночную ценность, так и в качестве сырья для *маслоделия* (см.). Если торговля молоком требует правильной расценки его по содержанию жира (колеблющегося до 1—2%), то торговля сливками, имеющими высокое содержание жира, требует особо строгой организации. Так, исследования автора в лаборатории Тимирязевской с.-хоз. академии показали, что во встречающихся в продаже сливках (а также в сметане) содержание жира колеблется между 6 и 50%. Различают три сорта сливок: высший (жира выше 35%), средний (от 20 до 35%) и третий сорт (ниже 20%); эти границы приблизительны, но как товарные нормы они формально не установлены. Понятно, насколько важно установить соответственные лимиты: злоупотребления в этом деле весьма распространены.

Сказанное о сливках и их составе одинаково относится и к сметане, где злоупотребления еще чаще, т. к. здесь имеет место и преднамеренное введение в нее творога. Чем выше содержание жира в М., тем относительно ниже содержание в сметане белков; так, напр. общее количество белков в М. редко превышает 4%, в сливках же (соответственно и в сметане), содержащих 30% жира, их количество ниже 3%. Анализы сметаны иногда показывают повышенное содержание белков до 6% и выше; это означает, что в сметану соответственными технич. приемами введен творог.

Каймак по-тюркски означает сливки, но под этим названием известен продукт, приготовляемый на Кавказе и в смежных с ним странах. Техника приготовления проста: прокипяченное М. оставляют на умеренном жару, где оно быстро отстаивается и сверху покрывается пенкой. Накопившуюся толстую жирную пенку снимают, складывают в тарелку, а М. продолжают держать на жару, многократно снимая накопившиеся пенки и складывая в тарелку слой на слой. Накопившиеся т. о. многослойные пенки остужают и употребляют как деликатес (с сахаром) или с кофе. Иногда делают и так: пленок не снимают, а дают образоваться одному толстому слою, все выносят на холод и, когда толстый жирный слой остынет, его снимают. Нечто в этом роде приготовляется и в Англии под названием девоншир-крим.

Мороженое у нас в руководствах обыкновенно не значится в числе молочных продуктов, в США же ему уделяется весьма видное место. Мороженое, к-рое преимущественно приготовляется из М. и сливок, является освежающим, вкусным, приятным блюдом, производство к-рого и у нас растет с необычайной быстротой. Следует вынести это дело из состояния кустарного производства и индустриализировать его. О производстве масла и сыра см. *Маслоделие* и *Сыроварение*.

Торговля молочными продуктами у нас до настоящего времени точно не регулирована: нет норм для состава их и товарности, не установлены принципы расценки, нет норм упаковки, посуды и проч. Советское законодательство поставило на очередь вопрос об установлении стандартов всех молочных продуктов, нормировании видов их и принципов справедливой расценки. Требование лица у продуктов требует и нормирования их. Так, например М. с содержанием жира в 3, 3,6, 4 и 4,5% конечно не м. б. оцениваемо одинаково, так как с точки зрения питательной ценности и товарных выходов эти четыре образца М. имеют далеко не одинаковую ценность. В виду сказанного в нек-рых странах, напр. в США, практикуется нормирование (стандартизация) М. для городской продажи, для выработки сгущенного и сухого М., смеси М. со сливками для мороженого и т. д. Имея образцы молока различной жирности, легко вычислить количества, в которых их следует смешивать для получения смеси надлежащей жирности. Для облегчения такого вычисления употребляется так наз. квадрат Пирсона, дающий возможность производить вычисление совершенно автоматически (см. фиг.). Предположим, что имеется М. с содержанием жира в 4,2% и 3,3% и желательно получить смесь с 3,5% жира. Для вычисления вычерчивают квадрат, посредине к-рого ставят требуемое число 3,5; в левом верхнем углу пишут содержание жира одного образца (4,2%), а у нижнего угла—другого образца (3,3%). Расчет производится очень просто: читая десятые доли как целые (вместо 4,2—3,5, 42—35), вычитаем меньшие числа из больших, получаем 42—35 = 7; эту цифру пишем у противоположного по диагонали угла; точно так же 35—33 (вместо 3,5—3,3); разность 2 пишем у противоположного (по диагонали) угла. Задача решена: 4,2%-ного М. следует взять 2 ч., а 3,3%-ного—7 ч. По этому способу вычисляют также, в каких долях следует делать смеси, чтобы получать стандартное молоко по указаниям врачей. Точно так же вычисляют и состав смеси перед выпариванием, чтобы получить стандартное сгущенное или сухое молоко. Т. о. можно составлять смеси сливок для получения стандартных сортов (обычно 3) сливок или сметаны. Кроме этих стандартных требований к составу продуктов, рынок ставит особенно строгие требования товарных признаков. Внутренний наш рынок эти требования пока предъявляет весьма слабо, деля товар на 1-й, 2-й и 3-й сорта. Международный же рынок требует не только высоких качеств например отдельных бочек масла, но и однородности всей поступившей на рынок партии; так, если на рынок поступило 2 партии по 150 бочек масла, из к-рых в одной все масло однородно и среднего качества, в другой же 25% высшего сорта, 45% среднего, 25% третьего сорта и 5% браку, то рынок предпочтет первую партию, хотя и только среднего товара. Постоянный контроль масла, вывозимого за пределы Союза, осуществляется специальной бракеражной организацией в ленинградском порту, проверяющей прибывающие транспорты масла выборочно в известном проценте и задерживающей партии, к-рые не удовлетворяют известным требованиям. Вопрос же о сортировке и составлении однородных партий поставлен на очередь.



Лит.: Иванов Г. С., Химия молока и молочных продуктов, вып. 1, 2 изд., М.—Л., 1928, вып. 2, М.—Л., 1923, вып. 3, М.—Л., 1926; его же, Анализ молока, масла, сыра, Вологда, 1922; Паращук С. В., Молоковедение и молочное дело, 2 изд., М.—Л., 1929; Grossfeld J., Anleitung zur Untersuchung der Lebensmittel, Berlin, 1927; Weigmann H., Mykologie der Milch, Berlin, 1911; Henkel Th., Katechismus der Milchwirtschaft, 2 Auflage, Stuttgart, 1909. **А. Калантар.**

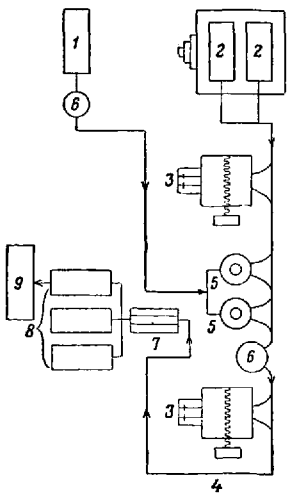
МОЛОКО ИСКУССТВЕННОЕ представляет собою эмульсию твердого масла земляного ореха или сои или кокосового масла в тощем молоке, т. е. продукт, по преимуществу богатый растительными жирами. Изготовление М. и. имеет целью заменить содержащийся обыкновенно в молоке в количестве от 2,5 до 4,5% молочный жир более дешевыми растительными жирами (кокосовым, бобовым, арахидным и др.).

На протяжении последних 40—50 лет как в Европе, так и в Америке делаются попытки найти способ изготовления М. и. путем добавления растительных экстрактов к снятому молоку. В последние 10 лет были заявлены патенты гл. обр. на способы производства искусственных сливок. Это объясняется высокими ценами на натуральные сливки по сравнению с молоком, разнообразием применения их в пищевой промышленности (в кондитерском, булочном и других производствах) и тем, что изготовление искусств. сливок технически наиболее доступно, а конечный продукт легче сохраняется. Такие сливки продаются в бутылках ежедневно свежими с содержанием жира: 12%—сливки для кофе и 32%—для сбивания. Кроме того их консервируют в банках и в сухом виде—в порошке. В отличие от столовых сливок имеется фабрикат этого продукта с содержанием жира около 70% для вскармливания телят и поросят. При растворении 1 *кг* на 3,5 *кг* воды и 20 *л* снятого молока получается совершенная эмульсия, подобная цельному молоку. З-ды М. и. имеются в Дании, Норвегии, Англии, Франции и Германии. По внешнему виду искусственные сливки ничем не отличаются от натуральных сливок. Из них легко получают б и т ы е с л и в к и и м а р г а р и н. Добавленные в кофе, они не м. б. отличены от натуральных сливок. Выделенный обычным сбиванием в виде масла из М. и. жир м. б. легко определен анализом кислотности по Гросфельду. Обычная кислотность сливочного масла около 18—19, кислотность растительного—около 1. По распределению жировых шариков искусственное молоко одинаково с настоящим молоком и сливками. Данные анализа натуральных сливок и сливок искусственных следующие:

	Натур. сливки	Искусств. сливки
Жира	32%	33,49%
Белка	2,6%	3,69%
Молочного сахара	3%	—
Золы	0,3%	3,27%
Рефракция	49,5—5 при 25°	51,4 при 40°

Способ производства искусственных сливок «Градин» отличается от способов, до сих пор применявшихся для производства М. и. Согласно германскому патенту этот способ состоит в прибавлении к снятому или цельному молоку, путем смешивания, масла или жира, сгущенного гидрированием до $t°_{пл.}$ 30—32° (твердость жира). Эта смесь гомогенизируется под давлением от 50 до 150 *atm* при темп-ре 30—38°, пастеризуется и пропускается через сепаратор. Смотря по надобности, после сепарирования можно получить готовый продукт с содержанием жира от 12 до 32%. Для приготовления обычных сливок лучшие результаты получаются гомогенизацией смеси при давлении в 150 *atm*, а для сбивающихся в 55 *atm*. Кроме применения гомогенизаторов для получения искусственных сливок имеет большое значение выбор растительного масла или жира подходящей твердости. Масло растительное, применяемое при производстве маргарина и имеющее $t_{пл.}$ 40—42°, для производства искусственных сливок не годится. Для приготовления сливок для кофе могут быть взяты снятое молоко или пастеризованное, для сбивающихся употребляют только свежее цельное молоко. Смесь, предназначенная на сливки для кофе, составляется из 90 ч. свежего цельного молока с 10 ч. подогретого масла, а для сливок для сбивания—73 ч. молока и 27 ч. масла. Для улучшения вкуса и повышения питательности к сливкам прибавляют желтки и разные эфирные масла, а также и витамины.

Техническое оборудование для производства искусственных сливок несложно и в дополнение к обычным машинам имеет несколько специальных гомогенизаторов, специальное приспособление для растопки масла на приемном баке и необходимые для хорошего смешивания баки с мешалками, снабженные двойными стенками и оборудованные приспособлениями для нагревания паром и охлаждения водой. Сливки, которые изготовлены за день, хранятся до другого утра, как обычно, в специальном помещении, оборудованном баками с мешалками. Сохраняемость сливок больше, чем натуральных, т. к. растительные жиры устойчивее. На схеме показан процесс выработки М. и.: *1*—приемный бак для цельного молока; *2* — баки для твердого масла; *3*—гомогенизатор для масла; *4*—«мелкий» трубопровод; *5*—круглые баки для смешивания цельного молока и масла; *6*—подогреватель до 38°; *7*—пастеризатор на 90° с плоским холодильником; *8*—помещение для хранения; *9*—розлив и укупорочное отделение и бутыломоечный аппарат в нижнем этаже.



Сухое М. и. для вскармливания животных—по внешнему виду мука, жирная наощупь. 1 *кг* этого порошка, растворенный в 3,5 *кг* воды и смешанный с 20 *кг* свежего снятого молока, дает молоко (витаминовое) с содержанием до 3,8% протеина и 3,3% жира, т. е. является очень близким в этом отношении к обычному молоку.

Опыты вскармливания телят М. и. (фирмы «Итамин»), поставленные в 1928/29 г. Зоотехнической научной станцией в Тчехнице около Бреславля (проф. Цорн), дали положительные результаты, причем установлено, что М. и. может заменить при вскармливании молодняка натуральное молоко: в отношении племенных телят на 60—80%, а мясных—даже на 100%. Частичную замену натурального молока М. и. при кормлении мясных телят можно начинать без ущерба на 7-й день. Развитие и прибавление веса телят, вскормленных на витаминовом молоке, одинаково с развитием и весом питавшихся цельным молоком. Обязательным условием при скармливании М. и. телятам являются применение свежего снятого молока и соблюдение безупречной чистоты при приготовлении; в противном случае неизбежно придется считаться с желудочными заболеваниями у телят. Производство М. п. позволяет в сельском хозяйстве рационально использовать излишки снятого молока при выращивании молодняка.

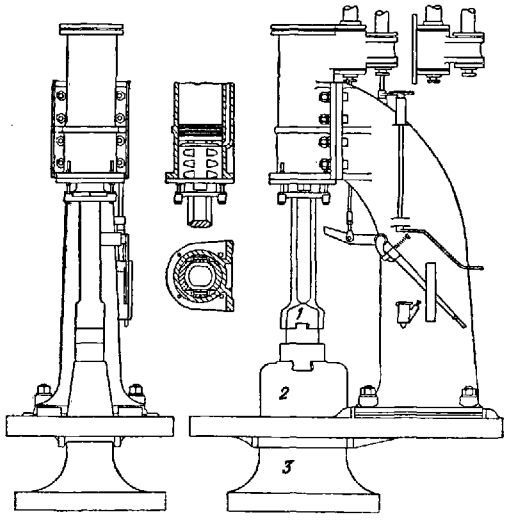
Лит.: Г. П. 112687, 291130, 395332, 268536, 289929, 319985, 374746, 378180, 393454, 398502, 166847, 166848, 398907, 67634, 225080, 189415; К н о с h C., Handbuch d. neuzeitlichen Milchverwertung, 2 Auflage, Berlin, 1927; «Molkerei-Ztg.», Hildesheim, 1929, 1, 135; «Süddeutsche Molkerei-Ztg.», Kempten in Allgau, 1929, *39*; «Mitteilungen d. deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft», *Berlin, 25—26*; «*Landwirtschaftliche Presse*», B., 1929, Aug. 20.

В. Мещерин.

МОЛОТ, механизм, применяемый для деформации металлов в *кузнечном производстве* (см.) и работающий ударом. Энергия удара определяется весом падающих частей и высотой падения: $E' = PH$ (1), где E' выражено в *кгм*, P в *кг* и H в *м*; поэтому, если падающие части М. не имеют добавочного ускорения (М. ординарного действия) кроме вызываемого силой тяжести, то ф-ла (1) определяет мощность М. В современных конструкциях М. возможно получить добавочное ускорение падающих частей (М. двойного действия), и тогда ф-ла (1) принимает вид

$$E = PH + apH, \qquad (2)$$

где p—давление в *кг/см²*, a—площадь поршня в *см²*. Размер М. принято обозначать по весу падающих частей, так как добавочный член apH формулы (2) может изменять величину E в очень больших пределах, не давая возможности судить о действительных размерах молота.*



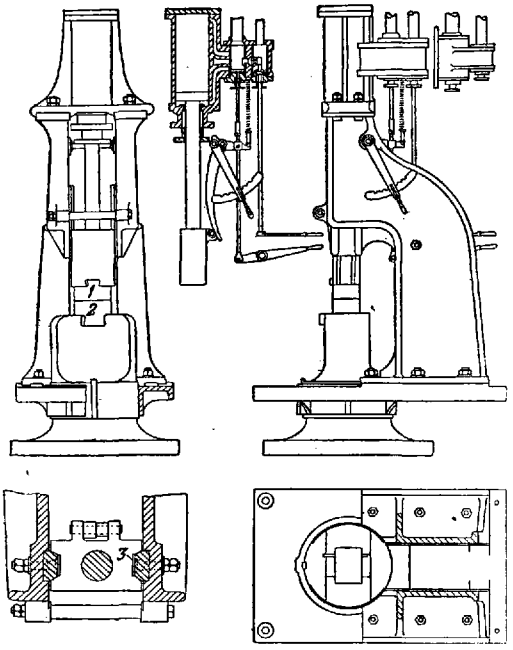
Фиг. 1.

Типы М. определяются родом производимой работы, от к-рой зависит конструкция М. В кузнечном производстве М. применяется для свободной ковки (крупные поковки, индивидуальная и серийная работа) или для штамповки (массовая работа, вес поковки

* Скорость бабы у М. двойного действия в момент удара определяется по ур-ию:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{P}{g}v^2 = H(P+ap); \quad v = \sqrt{\frac{2gH(P+ap)}{P}}.$$

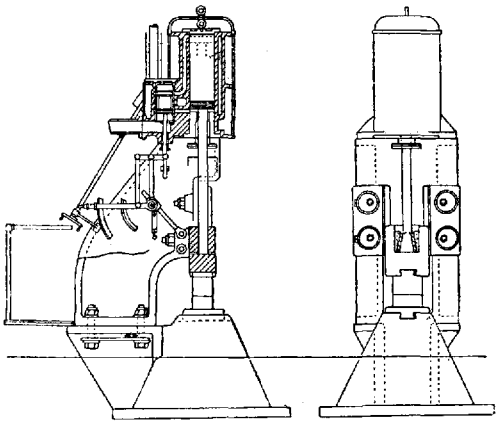
не выше 200—300 *кг*/шт.). В первом случае требуется от М.: сильный удар и свобода маневрирования; точность падения бойка не обязательна. Во втором случае (штамповка),



Фиг. 2.

наоборот, на первом месте — точность падения верхнего бойка, а затем уже сила удара; свобода маневрирования не нужна. Самый удар различен для обоих случаев ковки— при свободной ковке удар бывает только центральным, при современной штамповке большей частью удар бывает внецентренный (линия—ц. т. бойка и точка соприкосновения с поковкой не вертикальна). Естественно, что все это должно отражаться на конструкции М.; внешний вид М. указывает, для какой работы он предназначен. Из опытов Массея (см. *Кузнечное производство*) следует, что в работе ковки превалирующее значение имеет не размер (вес падающих частей) М., а величина площади бойков, поэтому выбор (определение размера) М. для работы кузнеца очень прост: по требуемому сечению поковки надо выбирать М. с площадью бойков не меньшей, чем это сечение. На конструктора ложится решение вопроса, какое сечение бойков следует придать М. данного размера (веса падающих частей). Так как М. двойного действия развивает бóльшую энергию удара, чем М. ординарного действия, то очевидно, что эти два типа молота при одном и том же размере могут иметь разные площади бойков, т. е. молот двойного действия и в этом отношении будет более гибок.

Для свободной ковки обычно применяются паровые М. двойного действия. На фиг. 1 показан одностанинный М. (*1*—верхний боек, *2*—нижний боек, *3*—шабот) для свободной ковки (тип Ригби фирмы Массей). Он обладает всеми характерными чертами ковочного молота: большим ходом и большим диаметром поршня и свободой маневрирования. На фиг. 2 приведен тип одностанинного М. для штамповки (*1*—верхний боек, *2*—нижний боек, *3*—выверяемые направляющие) того же размера; ход поршня и его диаметр меньше; М. имеет сильные направляющие и мало свободного места для помещения



Фиг. 3.

поковки. На фиг. 3 показана последняя модель (1929 г.) парового М. Краматорского з-да—тип комбинированный как для свободной ковки, так и штамповки. Для сравнения

Табл. 1.—Сравнения мощности 350 *кг* М. разных типов.

Назначение	Фирма	Поршень d *мм*	Поршень $\frac{\pi_1 d^2}{4}=a$ *см²*	p *atm*	ap *кг*	P *кг*	$F=ap+P$ *кг*	H *м*	$E=FH$ *кгм*	apH *кгм*	$PH=E'$ *кгм*	$v=14\sqrt{\frac{E}{10P}}$ *м/сек*	$E':E$
Ковка свободная	Массей тип Ригби	318	794	4	3 177	350	3 527	0,66	2 418	2 178	240	13,5	1:10
	R. Hartmann, Chemnitz (Ригби)	280	615	6	3 690	400	4 090	0,50	2 045	1 845	200	9,8	1:10
Комбинировк. ковка и штамповка	Краматорский металлич. зав.	220	380	6	2 280	350	2 630	0,56	1 473	1 277	196	8,4	1:7
Штамповка	Массей с 2 направ.	259	526	4	2 107	350	2 457	0,61	1 500	1 270	230	9,1	1:7
Штамповка	Воздушный (с индивид. мотором)	—	—	—	—	350	—	0,48	600	435	165	5,8	1:3,5
Штамповка	Падающий	—	—	—	—	350	—	2,00	—	—	700	6,3	1

мощности этих трех типов М., соответствующие данные помещены в табл. 1 (все данные взяты из фирменных прейскурантов).

Из данных табл. 1 видно, что: 1) верхний пар (воздух) увеличивает энергию удара от $3^1/_2$ до 10 раз; 2) ковочный М. имеет бо́льшую мощность и скорость, чем какой-либо другой тип. Хотя здесь приведены данные, касающиеся одного размера М., но эти показатели присущи и другим размерам. Размер площади бойков должен входить в характеристику М. Ниже в табл. 2, 3 и 4 приведены характеристики М. различных фирм. Показатели и характеристика М. из табл. 2, 3, 4 ярко подчеркивают, какие детали молота конструкторы считают важными для кузнечного производства. Нам кажется, что особенно ярко подчеркивает КМЗ связь между толщиной поковки и размером бойка, что было особенно резко подчеркнуто в опытах Массея (см. *Кузнечное производство*). Надо отметить, что прейскуранты молотов, например Erie, Chambersburg (США), не дают характеристики молотов по размерам бойка, так же поступают и немецкие фирмы, например в книге Oetling совершенно этих указаний нет, и даже приводя характеристики М. фирмы Массей, автор прейскуранта выпускает эти данные, несмотря на то, что эта характеристика является наиболее важной для производственника, потребителя М. Как указано в табл. 4, штамповочные М. не могут быть изготовлены со станиной с вылетом в размерах более чем $1^1/_2$ *m*, т. к. для более мощных типов потребовалась бы станина чрезвычайно тяжелая. Поэтому для этого типа молотов применяется а р о ч н а я форма станин, показанная на фиг. 4, для 3-*m* М. На этом М. м. б. установлены бойки для ковки осей, и ковка в обоих крайних ручьях происходит внецентренным ударом; поэтому, чтобы воспринимать боковое усилие, станины должны быть очень мощными, и на М. типа Ригби такую работу нельзя было бы провести. Характеристика М. этого типа приведена в табл. 5 и 6. Этот тип парового М. является наибо-

Табл. 2.—Характеристика паровых М. Краматорского металлургического завода (КМЗ), модель 1929 г.

Величины	Вес падающих частей в *кг*				
	250	350	500	750	1 000
Диам. поршня в *мм*	190	220	250	280	310
Ход » в *мм*	500	560	650	760	850
Давление пара в *atm*	6	6	6	6	6
Толщина нормальной поковки в *мм*	125	140	160	190	210
То же максимальной в *мм*	190	210	240	285	315
Размеры бойка в *мм*	235×155	260×175	300×200	330×230	380×250
Расст. между шаботом и параллелью М. в *мм*	450	490	540	600	900
Вылет станины в *мм*	300	340	400	500	600
Высота М. от пола в *мм*	2 800	3 100	3 400	3 700	4 300
Действительн. эффект удара при поковке нормальной величины в *кгм*	600	900	1 400	2 100	2 900

Табл. 3.—Характеристика паровых М. фирмы Массей типа Ригби.

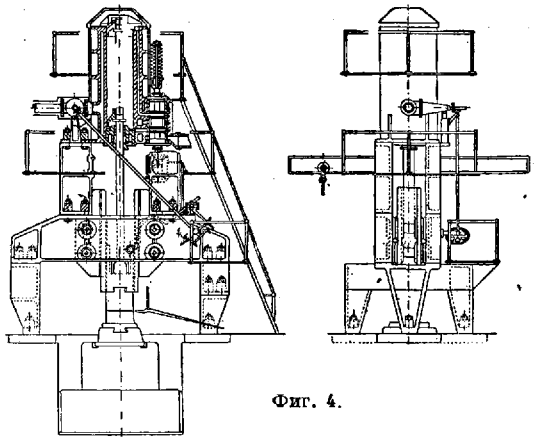
Величины	Вес падающих частей в *кг*							
	150	250	350	500	750	1 000	2 000	3 000
Диам. цилиндра в *мм*	225	275	337	350	400	437	550	612
Ход поршня в *мм*	525	600	650	750	850	950	1 275	1 500
Давление пара	от 3,3 до 5,3 *atm*							
Разм. верхн. бойка в *мм*	175×175	200×175	225×200	250×225	300×225	337×250	425×300	450×375
Вылет станины » »	500	600	600	612	656	737	925	1 050
Диаметр скалки » »	122	137	156	187	200	225	300	350
Высота молота » »	2 600	2 800	2 950	3 250	3 650	3 950	4 725	5 475
Диам. труб паропр. входного и выходного в *мм*	44 и 56	50 и 63	63 и 75	75 и 87	87 и 110	87 и 112	112 и 137	125 и 150
Вес общий в *m*	$3^1/_2$	$5^1/_4$	$6^3/_4$	$9^3/_4$	$14^1/_2$	$18^3/_4$	$32^1/_2$	46
Вес без шабота в *m*	$2^1/_4$	$3^1/_2$	$4^1/_4$	6	$8^1/_2$	11	$17^1/_4$	$22^1/_2$
Вес » » и фунд. плиты в *m*	$1^1/_2$	$2^1/_2$	3	$4^1/_4$	6	$7^3/_4$	12	14

Табл. 4.—Характеристика штамповочных М. фирмы Массей. *

Величины	Вес падающих частей в *кг*								
	25	50	150	250	350	500	750	1 000	1 500
Диам. поршня в *мм*	106	131	187	225	250	300	335	362	425
Ход поршня в *мм*	275	300	425	525	600	675	750	825	975
Давление пара	от 3,3 до 5,3 *atm*								
Размеры бойков в *мм*	170×70	180×100	200×150	250×175	275×200	300×225	350×250	350×250	437×300
Расстояние между направл. в *мм*	175	195	205	225	280	320	362	362	425
Вылет станины в *мм*	195	225	275	325	350	375	450	450	450
Расстояние между направл. шабота и параллелями в *мм*	145	145	300	320	370	415	488	594	630
Выс. молота от пола в *мм*	1 625	1 700	2 425	2 700	2 825	3 175	3 600	3 800	4 325
Диам. труб входн. и выходн. в *мм*	25 и 31	25 и 31	44 и 50	50 и 62	62 и 75	75 и 87	75 и 100	87 и 112	100 и 125
Вес общий *m*	1	$1^1/_4$	3	5	$6^1/_2$	$8^1/_2$	$13^1/_4$	$17^1/_4$	25
Вес без шабота в *m*	$^3/_4$	$^7/_8$	$1^3/_4$	3	$3^3/_4$	$4^3/_4$	$7^1/_2$	$9^1/_2$	$13^1/_4$
Вес « « и плиты в *m*	—	—	$1^1/_2$	$2^1/_4$	$2^3/_4$	$3^1/_2$	$5^1/_4$	$6^1/_2$	$9^1/_2$

* Больших размеров этот тип не изготовляется, а заменяется арочным М.

лее распространенным для индивидуальной ковки среднего размера изделий—до 15—16 *т*. Более крупные изделия (выше 15 *т*) обычно куются под *прессами* (см.). Преимуществом этого типа М. является удобство и



Фиг. 4.

быстрота работы, тогда как под прессом работа более медленна. Из сравнения фигур М. и их характеристик по табл. 2, 3, 4, 5 и 6 можно заметить нек-рые общепринятые конструктивные особенности в современных молотах: отношение веса падающих частей молота к весу шабота 1 : 8, а для штамповочных 1 : 20, стремление связать станины с шаботами, чтобы получить наибольший эффект удара, обеспечение точного совпадения бойков во время ковки в типах молота для штамповки, невысокое давление пара (нем. и рус. 6—7 *atm*, англ. до 5 *atm*). Рекомендуется избегать во всех конструкциях М. заклепочных и болтовых соединений, т. к. таковые легко расшатываются от ударов, и только в крайних случаях применять болтовые соединения, обязательно с контргайкой, а иногда и шплинтом.

Наиболее ответственной частью в М. ковочного типа будет скалка, воспринимающая все боковые удары, в штамповочных эти боковые удары воспринимает станина. Скалка ковочного М. делается обычно из стали (~ 0,23 ± 0,03% C; 1,5% + 0,2% Ni) и подвергается обязательно термич. обработке—закалке с отпуском не ниже 600°. Необходимо обратить особенное внимание на процесс ковки перехода от тонкого сечения штока к толстому сечению бабы (см. *Кузнечное производство*). Неправильно проведенная ковка скалки с перерезом волокон и неправильная термическая обработка часто ведет к поломке скалки при работе М. Станины, особенно штамповочных М., в настоящее время обычно делают стальными литыми и избегают делать клепаными (легче сборка, особенно М. крупных размеров), т. к. каждый удар расстраивает клепаный шов и тем разрушает ковочный механизм. Цилиндр изготовляется из чугуна, для М. меньших размеров обычно составляет одно целое с золотниковой коробкой и только у очень крупных молотов присоединяется на болтах. Золотник круглый со вставленной рубашкой (лайнер). Как особенность цилиндр М. Краматорского металлургического завода имеет снаружи обогревательную рубашку, покрытую извне надежной изоляцией. Перед работой молота цилиндр обогревается снаружи свежим паром, а поэтому в рабочем цилиндре не бывает конденсационной воды.

Паровые М. могут быть приводимы в движение сжатым воздухом вместо пара и на-

Табл. 5.—Характеристика М. КМЗ ковочного типа.

Величины	Вес падающей части в *т*						
	1	1,5	2	3	5	8	12
Диаметр цилиндра в *мм*	310	360	400	460	565	680	800
Давление пара в *atm*	6	6	6	6	6	6	6
Ход поршня в *мм*	850	1 000	1 150	1 380	1 760	2 300	2 800
Толщ. норм. поковки в *мм*	210	250	290	350	450	575	700
Толщина максимальной поковки в *мм*	315	375	435	525	675	860	1 050
Размеры бойка дл. в *мм*	383	420	480	540	630	750	880
Размеры бойка шир. в *мм*	250	280	320	360	420	500	580
Высота между шаботом и параллелями М. в *мм*	900	980	1 050	1 130	1 300	1 400	1 600
Расстояние между стойками в *мм*	2 000	2 200	2 400	2 800	3 400	4 000	4 500
Высота М. от пола в *мм*	4 300	4 600	5 200	6 000	7 000	8 300	10 000
Действительн. эффект удара при поковке нормальн. толщ. в *кгм*	2 940	4 790	6 950	11 350	22 730	43 800	75 700
Вес молота без шабота в *т*	12,6	17	22,2	31,2	49,6	76,6	110
Вес шабота в *т*	19	28,5	38	57	95	152	228

Табл. 6.—Характеристика М. ковочного типа фирмы Массей.

Величины	Вес падающих частей в *кг*								
	150	350	1 000	1 500	2 000	3 000	5 000	8 000	12 000
Диам. цилиндра в *мм*	187	250	362	425	450	525	687	800	900
Ход поршня в *мм*	425	600	825	975	1 125	1 350	1 650	1 950	2 250
Размер бойков в *мм*	200×150	275×200	387×250	437×300	487×345	537×400	700×400	800×550	875×550
Расстояние между направл. в *мм*	255	280	425	512	562	637	725	875	900
Расстояние между станинами в *мм*	1 200	1 350	1 900	2 300	2 550	3 300	3 625	4 200	4 750
Расстояние между шаботом и направляющими в *мм*	175	295	400	525	625	825	900	—	—
Общая высота М. в *мм*	2 250	2 900	3 800	4 325	4 625	5 300	6 500	7 525	8 175
Диаметр входной и выходной трубы в *мм*	44 и 56	62 и 75	87 и 112	100 и 125	112 и 137	125 и 150	150 и 175	175 и 200	200 и 225
Вес общий в *т*	3½	7¼	17½	27¼	35	49	78½	121	175
Вес без шабота в *т*	2¼	4½	9¾	15½	19½	25½	39½	58	82
Вес без шабота и плиты в *т*	1¼	2¾	6¼	10	12¾	18½	28½	44	63

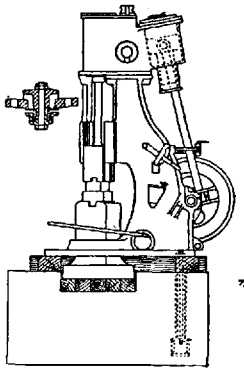
Давление пара от 3,3 до 5,3 *atm*, рекомендуется 4 *atm* (5 *atm* абс.)

зываются тогда пневматическими М. Замена пара сжатым воздухом благоприятно отражается на работе М.—нет конденсационной воды, не надо подогревать цилиндр, М. всегда готов к работе. Казалось, что сжатый воздух выгоднее пара, но следует учесть следующее обстоятельство: паровой М. работает паром при 5—6 *atm*; чтобы иметь под таким же давлением воздух, надо применять 2-ступенчатый компрессор с охлаждением, т. е. часть механич. работы превращать в тепло, уносимое охлаждающей водой; кроме того отлагающийся при расширении влажного воздуха лед может закрыть отверстия. В силу высказанных соображений об охлаждении сжатого воздуха кпд пневматической установки с давлением 6 *atm* будет ок. 30—35%, поэтому предпочитают работать с давлением ок. 3 *atm*, но такое давление уменьшает мощность М., предназначенного для работы паром при 5—6 *atm*, тогда как сжатие воздуха компрессором до этого последнего давления требует вдвое большего расхода энергии. Следует еще отметить, что на практике пар с давлением 3 и 6 *atm* требует для получения его одного и того же расхода топлива. Поэтому для сохранения мощности молота нужно было бы делать бо́льшего размера цилиндр, а так как на пневматику переходят в случаях замены пара в паровых М., то следует иметь в виду или уменьшение мощности М. или удорожание расходов на энергию. Следует иметь в виду бо́льшую возможность утечки воздуха сравнительно с паром, т. к. воздух требует лучшего уплотнения стыков, чем пар, и кроме того труднее фиксировать место утечки. В виду этих обстоятельств в настоящее время получил большое распространение воздушный М. с индивидуальным ударом.

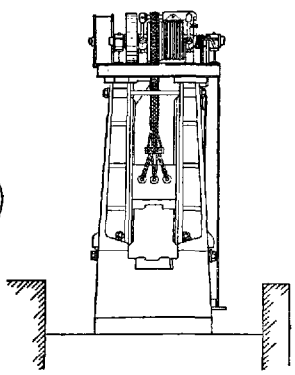
Воздушный М. содержит в самой конструкции компрессор, непосредственно соединенный с рабочим цилиндром М. На фиг. 5 изображен внешний вид 2-*m* воздушного М., работающего прямо от мотора. Экономия в расходе энергии воздушного М. по сравнению с пневматическим М. видна из табл.

Для воздушного М.	Для пневматического М.
Для каждого удара можно иметь то давление воздуха, которое требуется	Работает тем давлением, которое имеется в сети
Так как воздух служит пружиной между поршнем компрессора и рабочим поршнем, работа расширения после сжатия будет полная и так. обр. поршень может передать всю энергию сжатия	При постоянном давлении, имеющемся в сети, при работе молота используется меньше энергии
Нет потерь на мертвое пространство, т. к. объем воздуха в рабочее время один и тот же	Потери от мертвого пространства значительны
Нет тепловых потерь при сжатии, ибо воздух переходит в рабочий цилиндр при той же температуре, которая была в компрессорном цилиндре	Это тепло или рассеивается при движении по трубопроводу или же уносится охлаждающей водой

Большому распространению воздушных М. мешало то обстоятельство, что воздушный М. не мог быть применен для штамповки, т. к. конструкция его была такова, что можно будет получить лишь ряд автоматич. ударов. В последнее время (с 1924 г.) ряд фирм улучшил конструкцию воздушного молота, и теперь выпускают на рынок воздушные М. до 2 *m* с индивидуальным ударом. На фиг. 5



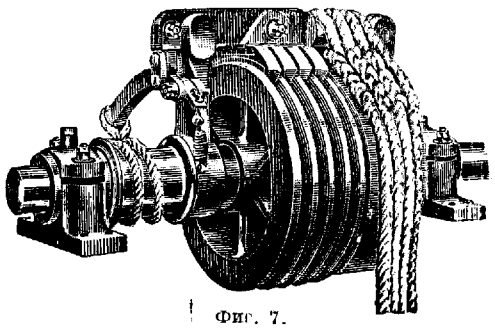
Фиг. 5.



Фиг. 6.

показан такой М. максимального размера фирмы Массей. В СССР изготовляет такие М. Краматорский металлургич. з-д (модель 1929 г.). Из сравнения произведенных испытаний (Англия) оказалось, что экономически наиболее выгодным является воздушный М., затем паровой и наконец пневматический. По свидетельству оппонентов (на собрании О-ва штамповщиков, где был заслушан доклад об упомянутых испытаниях) работа под пневматическим М. была производительнее, чем под паровым.

Рассмотренные выше типы М.—двойного действия. Кроме них имеются М. ординарного действия—п а д а ю щ и е. Это наиболее простой тип М.; они приводятся в действие гл. обр. от мотора или непосредственно от трансмиссии, хотя нек-рые типы М. имеют паровые или воздушные подъемники; предназначаются они гл. обр. для штамповки. На фиг. 6 показан чертеж 2-*m* падающего



Фиг. 7.

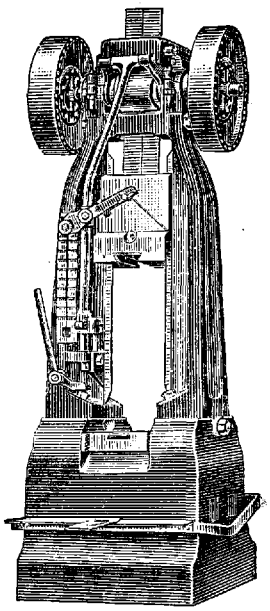
М. сист. Бретт с фрикционным подъемником (фиг. 7); для очень тяжелых молотов (до 20 *m*) применяются паровые или пневматич. подъемники (фиг. 8). Этот тип М. применяется в Англии. В США применяют падающие М. с доской (фиг. 9). Вес падающих частей этих М. достигает 2 *m*. Чтобы увеличить подъемную мощность доски и уменьшить ее износ, фирмой Эри сконструирован 4-роликовый падающий молот с доской. Все

эти молоты—штамповочные и приспособлены для нанесения внецентренных ударов, а потому имеют очень мощные направляющие.

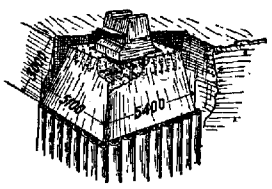


Фиг. 8.

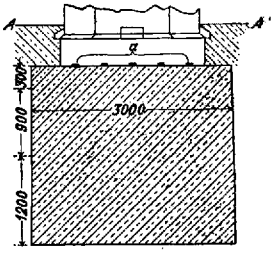
При установке молотов всех типов одним из главнейших условий для правильной работы и сохранения механизмов от расстройства является устройство фундамента. Основным правилом для установки штамповочных М. считают, чтобы вес шабота был ≥ 20-кратному весу падающих частей М. Фундамент изготовляется из бетона и щебня красного кирпича, проходящего через 50-*мм* грохот и задерживающегося на 25-*мм*; не допускается примесь огнеупорного кирпича—шамотного и динасного. Нижняя площадь основания д. б. такова, чтобы нагрузка на грунт не превосходила 3 *кг/см*²; если грунт не выдерживает такой нагрузки, требуется укрепление его сваями (фиг. 10). Между шаботом и фундаментом часто делают прокладку из дубовых брусьев поперечного сечения 300 × 300 *мм*; шабот кругом заливают цементом. Следует заметить, что англ. штамповщики иногда устанавливают шабот непосредственно на бетон, заливая шабот в верхний слой цемента и стягивая фундамент с шаботом болтами, что обеспечивает всей нижней части М. монолитность. При такой установке получается жесткий удар и штамповка очень хорошо отпечатывается. На фиг. 11 изображен изготовленный таким обр. фундамент для 1-*т* падающего М. (*а* — тонкие стальные полосовые прокладки, *А*—*А*— уровень пола). Размер бетонного стула 2 400 × 3 000 *мм*. Слой 1 200 *мм* изготовляется из смеси: 1 ч. цемента, 2 ч. песку и 4 ч. гранитного щебня, проходящего через сетку 50—60 *мм*. Слой 900 *мм*—1 ч. цемента, 2 ч. песку и 3 ч. гранитного щебня размером 25 *мм* и слой 300 *мм*—того же состава, но гранитный щебень 18—20 *мм*. Бетон хорошо перемешивается в сухом состоянии и после прибавки воды наносится слоями не более 200 *мм*. Перерыва в кладке не допускается, в целях достижения ее монолитности. По окончании верх отделывается по ватерпасу и покрывается мокрыми мешками по крайней мере за неделю до установки шабота. Большое затруднение в непрерывности выполнения работы возникает при изготовлении фундамента для станины М., но все же это требование непрерывности обязательно должно быть выполнено. Необходимо также проверить перед установкой шабота ровность поверхности и выпуклости, их, если имеются, необходимо срубить. Вообще лучше, чтобы были впадины, так как жидкий цемент во время заливки шабота хорошо заполнит их и соединит в одно целое



Фиг. 9.



Фиг. 10.

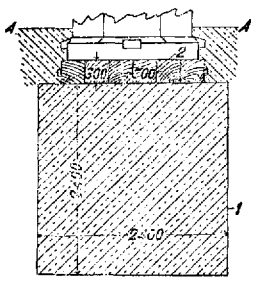


Фиг. 11.

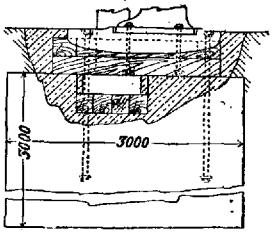
Табл. 7.—Типы М. и особенности их применения.

Тип М.	Вес	Высота подъема в *м*	Число ударов в мин.	Род энергии	Назначение
Падающий М.	100 *кг*—5 *т*	2—2,5	40—50 Автоматические и отдельные удары	Электрич., от привода	Штамповка
а) фрикционный	100 *кг*—3 *т*			Пар, воздух	
б) с паровым (возд.) подъемником	500 *кг*—20 *т*				
в) с доской	100 *кг*—2 *т*			Электрич., от привода	
г) » » 4-роликовый	до 5 *т*				
Паровой М. двойного действия (или пневматический)	25 *кг*—15 *т* (редко выше)	0,7—1 и выше для больших размеров	Произвольно—от отдельных до 200 ударов. Спец. автоматич. М. до 600 ударов	Пар, пневматика (сжатый воздух)	Всевозможные кузнечные работы
Воздушный М.	50 *кг*—2 *т*	0,3—0,8	100—250 Автоматич. и отдельн. удары	Электрич. и приводн.	Свободная ковка и штамповка
Пружинный М.	50—250 *кг*	0,2—0,4	100—300 Автоматич. удары	Электрич. и приводн.	Ковка тонких изделий

фундамент с шаботом. Сверху заливают слой бетона в 400—450 *мм*. На фиг. 12 представлена обычная установка $^1/_2$-*т* падающего М. (*1*—бетон, *2*—дубовые балки, *А*—*А*—уровень пола), а на фиг. 13 показана установка $^3/_4$-*т* одностанинного парового М. (фиг. 2). Шабот установлен на брусьях независимо от брусьев под станиной, но вся установка покоится на одном общем фундаменте. Надзор за фундаментом во время работы является обязательным и состоит гл. обр. из наблюдения за поверхностью шабота по уровню; малейший перекос следует устранять, иначе легко разбить весь М. и получить большой брак в поковке. Для ковочных М. больших размеров фундамент принимает такие большие размеры, что работу ковки выгоднее заменить прессовой, но для штамповки М., особенно паровой, остается незаменимым механизмом.



Фиг. 12.



Фиг. 13.

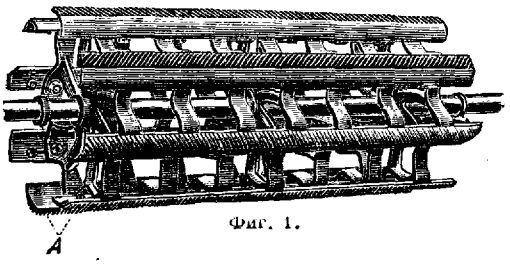
Кроме перечисленных выше типов М. имеются специальные М., по большей части малого размера—хвостовые, пружинные, имеющие специальное назначение; таковые описываются при соответствующем производстве. В табл. 7 приведены типы М. и особенности их применения.

Лит.: 1) «The Drop Forger», Birmingham, 1926, v. 6, *1*.—Гавриленко А. П., Механич. технология металлов, ч. 3. Обработка металлов давлением, 5 изд. М., 1925; Бергман О., Горячая обработка металлов, пер. со швед., т. 5, Л.— М., 1928; Прегер Э., Обработка металлов, ч. 2, Ковка, сварка, термич. обраб тка, пер. с нем. М., 1928; Жеа Л., Ковка и прокатка, пер. с фр., Л., 1928; Кодрон К., Горячая обработка металлов, пер. с фр., т. 1, 2, 3, М., 1929; Fuchs O., Schmiedehämmer Berlin, 1922; Schneider A., Gesenkschmieden. Uhlands Technisches Auskunftsbuch. Lpz., s. a.; Oetling C., Schmi de u. Schmiede-Technik, B 1, Mch. — B rlin, 1920; Halse A., Lufthämmer, «Werkstattstechnik», B rlin, 1924, Heft 9; Cyron, Wirtschaftlichkeitsstudie des Schmiedebetriebes unter besonderer Berücksichtigung d r Schmiedehämmer, «Glasers Annalen», Berlin, 1924, B. 94.
Н. Грачев.

МОЛОТИЛКИ, машины для производства молотьбы, т. е. выделения зерна из колосьев, стручков или початков. Разнообразные способы молотьбы в основном сводятся к следующим: 1) ручная молотьба при помощи цепа, вальков, палок, колотушек и рукавиц или ударами снопов о камни и колоды; 2) гарманование—вытаптывание зерна из колосьев лошадьми, для чего их гоняют по разостланным снопам на току (гарман), телегами или деревянными и каменными рифлеными катками весом 100—200 *кг*; 3) машинная молотьба (при помощи М.). Для молотьбы снопы предварительно просушивают в зависимости от климатич. и местных условий в поле (в копнах, крестах) или овинах. Простейшим орудием для ручной молотьбы является цеп, состоящий из рукоятки длиной 1,4 *м* и мотовила длиной 0,4 *м*, связанных между собою ремнем. Мотовилу при молотьбе придают вращательное движение, так чтобы оно после удара не отскакивало назад, а продолжало кругообразное движение. Производительность при молотьбе цепами считают от 60 до 100 снопов в день на человека; при гармановании производительность доходит до 1 000 снопов в день. Недостатками этих примитивных приемов молотьбы являются низкая производительность, возможность загрязнения зерна землей и навозом и неизбежная значительная потеря зерна от невымолота, доходящая до 5—7%.

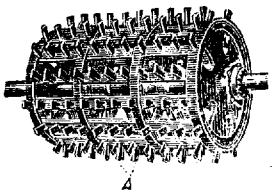
М. была изобретена в Европе А. Мейклем в 1785 г. (бильный барабан), а в Америке С. Торнером в 1831 г. (штифтовый барабан). М. разделяются на: 1) простые, только вымолачивающие зерно или отделяющие от вороха только солому; 2) полусложные, с одной очисткой; 3) сложные, с 2 очистками и сортировальным цилиндром. По роду двигателя М. разделяются на ручно-конные, моторные и паровые.

Главной рабочей частью М. является барабан; барабаны бывают двух типов: 1) действующие вытиранием зерна из колоса и 2) действующие ударами. Рабочими частями барабана первого типа служат 6—8 бил,

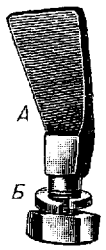


Фиг. 1.

или бичей (фиг. 1, *А*), а для второго типа—особые зубья (фиг. 2) или штифты (фиг. 3 *А*). Бильный барабан имеет обычно рифленые бичи, редко гладкие. Материалом для бичей могут служить ковкий чугун и прокатная сталь с удлинением при разрыве не менее 12- -15% (и в крайнем случае чугун). Иногда бичи для смягчения удара укрепляют на деревянных подкладках (подбичниках). Бичи укрепляют при помощи болтов с потайными головками. Насечка на бичах делается в противоположных направлениях, чтобы не происходило сбивания снопа к одной стороне барабана. Зубья барабанов делают только из мягкой стали различной формы. Простейший зуб—



Фиг. 2.

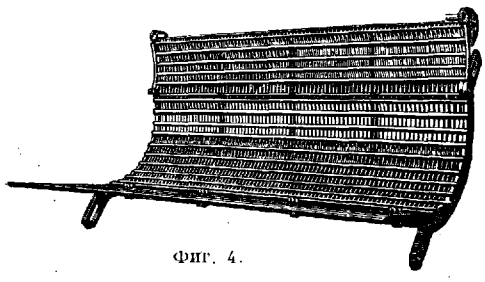


Фиг. 3.

симметричный двусторонний; преимущество его в том, что при спашивании одной стороны он может быть повернут на 180°.

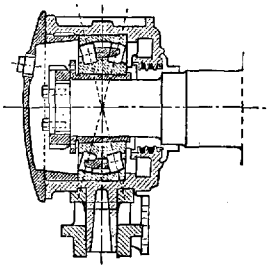
Гораздо правильнее делать зуб, которого рабочая часть отогнута назад под углом к направлению движения, меньшим угла трения соломы о сталь, чтобы зуб не тащил за собой последнюю. Для усиления действия зуба боковые грани его часто делают рифленными. Зубу часто придают форму клина для достижения более правильной регулировки расстояния между зубьями барабана и деки. Зубья укрепляются на барабане при помощи гаек. Расположение зубьев по барабану производится по винтовой линии—двухходовой или трехходовой. Штифтовые барабаны делают глухими и открытыми; осмотр и ремонт последних гораздо удобнее. Вследствие большой скорости (900—1 200 об/м.), барабан должен быть хорошо уравновешен статически и динамически (в ы б а л а н с и р о в а н). Уравновешивание производят на стальных призмах и специальных станках.

Около барабана устанавливается так наз. д е к а, усаженная планками или зубьями в зависимости от типа барабана. Деки делают различного устройства, например дека америк. М. — со сменными зубчатыми секциями и с решеткой или дека для бильного барабана, состоящая из двух частей (фиг. 4). Дека охватывает барабан по окружности на



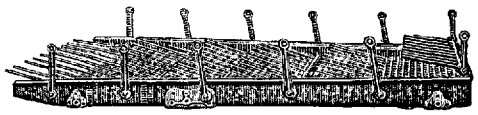
Фиг. 4.

расстоянии $^1/_3$—$^2/_3$ и располагается сверху или снизу барабана. В первом случае снопы в М. подаются кверху (верхняя подача); во втором—подача производится с наклоном вниз (нижняя подача). М. с нижней подачей производительнее, чем с верхней, так как сноп сам скатывается к барабану и его не надо проталкивать, и более безопасны для работающего в случае попадания в барабан камней, гвоздей и пр.; не менее 50% всех несчастных случаев с рабочими в сел. х-ве имеют место при молотьбе М. Дека устанавливается по отношению к барабану так, чтобы входное отверстие было шире, чем выходное; обыкновенно входное отверстие устанавливают размером в 25 *мм*, а выходное в 6—12 *мм*, но в зависимости от состояния и рода хлеба расстояния эти изменяются в довольно широких пределах. При верхней подаче дека устанавливается при помощи нажимного винта с маховичком; при нижней подаче в случае зубчатого барабана дека регулируется передвижением конца ее посредством особого эксцентрика. Эксцентрик сидит на квадратной оси, которая м. б. повернута ключом или особой рукояткой. Дека бильных барабанов устанавливается тремя винтами, расположенными снаружи; установка поверяется через особые смотровые окна. Расстановка зубьев в деке д. б. такова, чтобы не происходило перебоев в зацеплении зубьев барабана и деки. Вал барабана при работе может прогибаться, что вызывает увеличение трения в подшипниках и ведет часто к нагреванию и срабатыванию как вала, так и вкладышей подшипников. Поэтому правильно выбранные размеры вала, подшипников и смазка имеют большое значение для уменьшения простоев М. во время работы. Наиболее распространенной из систем подшипников для молотильных барабанов являются подшипники Селлерса с подвижными вкладышами и кольцевой смазкой или *шарикоподшипники* (см.), простые и сложные, обоймы к-рых также могут устанавливаться самостоятельно (фиг. 5).



Фиг. 5.

С о л о м о т р я с ы служат для выделения крупной соломы; они бывают клавишные, пальчатые (фиг. 6) и каскадные (фиг. 7). К л а в и ш н ы й с о л о м о т р я с представляет собою длинные дощатые рамки (клавиши), обитые сверху треугольными деревянными планками или железным листом с пробитыми отверстиями и отогнутыми вверх краями. При движении клавиш планки подхватывают солому и проталкивают ее вперед. Клавиши устанавливают на одном или двух коленчатых валах, вследствие чего все точки клавиши получают вращательное движение в вертикальной плоскости. Перед движением клавиши кверху она подхватывает солому и одновременно продвигает ее вперед в направлении от барабана, а при



Фиг. 6.

опускании вниз движется в обратном направлении вхолостую, а тем временем соседние клавиши подхватывают солому и продвигают ее дальше. Очень часто клавиши располагают на одном коленчатом валу с одной стороны, а с другой подвешивают на планках; при этом части клавиши около коленчатого вала получают вращательное движение, а части, находящиеся около подвесок,—качательное, вследствие чего условия протряхивания соломы в различных частях соломотряса будут неодинаковы. П а л ь ч а т ы й с о л о м о т р я с (фиг. 6) представляет



Фиг. 7.

собою длинное решето, над к-рым в несколько рядов располагаются деревянные или железные прутья (пальцы), к-рые делают сильные размахи и, подхватив солому, подбрасывают ее кверху. К а с к а д н ы й с о л о-

мотряс (фиг. 7) имеет отдельные ступени, с к-рых перебрасывается солома, и б. ч. снабжается зубчатыми гребнями, которыми солома захватывается и протряхивается. Для того чтобы протряхивание соломы и подбрасывание ее на соломотрясе происходило успешно, необходимо, чтобы ускорение движения клавиши вверх было больше, чем ускорение силы тяжести. Если r—радиус коленчатого вала, n—число об/м., ω—угловая скорость и g—ускорение силы тяжести, то $\omega^2 \cdot r > g$, т. е.

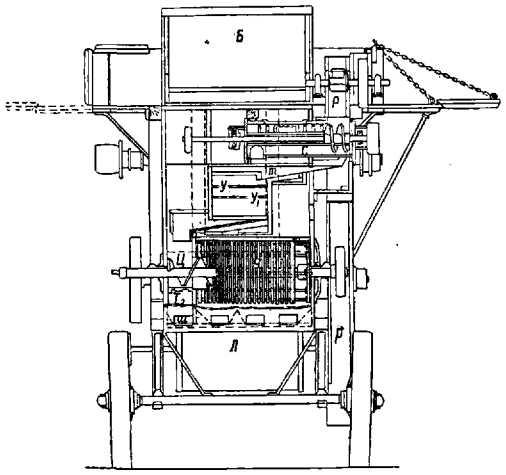
$$n > \frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{g}{r}}.$$

Грохот служит для отделения мелкой соломы (сбоины). Грохот представляет собою длинное решето с отверстиями. Отверстия делаются круглые воронкообразные. Грохот делают бо льшею частью ступенчатым для лучшего передвижения по нему соломистых частей. В сложных М. грохот часто продувается воздухом от вентилятора; в этом случае отверстия делают на железном листе в виде прорезов с отогнутыми краями (грохот Греппеля, см. *Веялка*) или в виде планок наподобие жалюзи, наклон которых может быть регулируем. Для успешной работы грохота должно существовать соотношение: $\omega^2 r > gf$, где f—коэф. трения.

Ручные и конные М. Ручная М. строится обычно с глухим зубчатым барабаном, верхней подачей и декой, устанавливаемой маховичком. Механизм ее состоит из двух пар зубчатых колес, реже из цепной передачи. Вращение барабана осуществляется при помощи двух рукояток, на каждой из которых одновременно работают два человека. Эта М. превращается в конную путем перестановки зубчатки с главным валом вниз и соединения его при помощи шарнира Гука со штангой, идущей от привода. Конные М. имеют обыкновенно зубчатый открытый барабан с нижней подачей; такие М. снабжаются соломотрясом и грохотом, глухими и приставными. *Конный привод* (см.) к М. обычно состоит из двух пар зубчатых колес: первая пара делается цилиндрической с внутренним или наружным зацеплением, в зависимости от размеров; вторая пара делается конической.

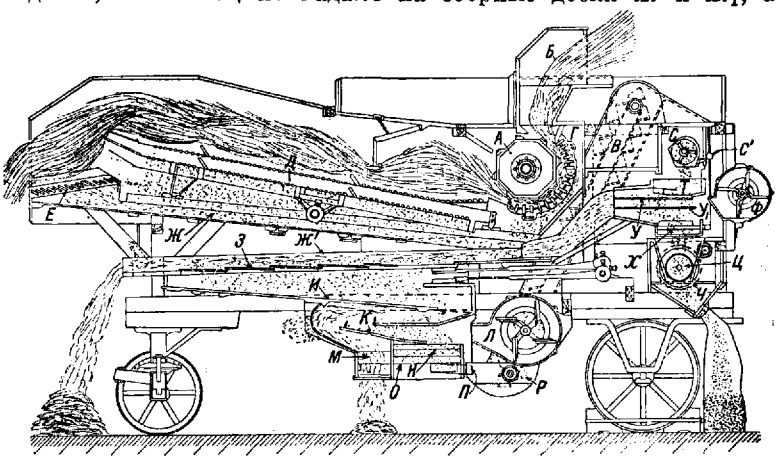
Полусложные М. Полусложная М. завода «Красная звезда» имеет штифтовый барабан с нижней подачей; за барабаном ставится особый барабанчик (битер), служащий для задерживания соломы от наматывания на барабан и для направления ее на соломотряс; соломотряс ставится пальчатый, и над ним подвешивается фартук, придерживающий солому; грохот делается деревянный ступенчатый с круглыми отверстиями; грохот и соломотряс приводятся в движение одним коленчатым валом; под грохотом располагаются решета веялки, продуваемые вентилятором. С верхнего решета сдувается мякина, со второго—сходит невымолоченный колос, с третьего—выходит зерно. Полусложные молоты приводятся в работу 6—8-сильным двигателем.

Сложные европейские М. (фиг. 8 и 9), снабжены бильным восьмипланочным



Фиг. 8.

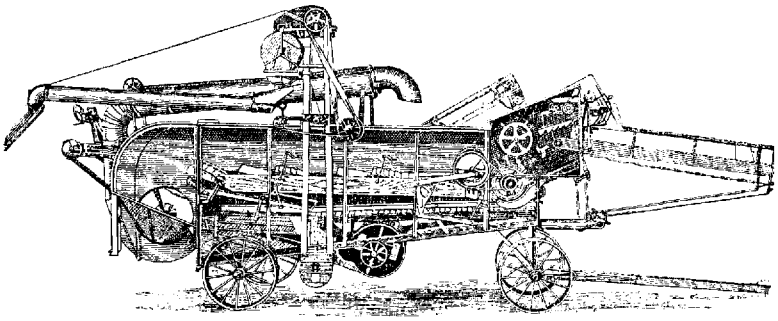
барабаном A; подача у них производится через приемное приспособление $Б$ подавальщиком, стоящим на площадке B; дека $Г$ состоит из двух частей и регулируется тремя винтами. В конце деки прикреплен тонкий железный лист для направления на соломотряс вылетающего вороха. Соломотряс $Д$ клавишный; над соломотрясом установлены щитки (фартук), служащие для задерживания соломы. С основного соломотряса солома передается на второй, дополнительный соломотряс $Е$. Битая солома, мякина и зерно падают на сборные доски $Ж$ и $Ж_1$, а



Фиг. 9.

оттуда направляются на ступенчатый грохот $З$. Битая солома проходит поверх грохота, а зерно и мякина падают через отверстия грохота на скатную доску $И$ и с нее на мякинное решето $К$. Здесь они подвергаются действию воздушной струи от венти-

лятора *Л*. Мякина отдувается от решета и через отверстие *М* падает под М. Зерно, попадая на скат, проходит оттуда сквозь решето *Н*, на к-ром задерживаются крупные части; после этого зерно падает на решето *О*, сквозь которое проваливаются песок и мелкие семена сорных трав. Зерно по рукаву *П* направляется к ковшевому элеватору *Р*, поднимающему зерно вверх. Здесь зерно проходит через шасталку *С*, представляющую собой барабанчик, снабженный плоскими зубьями и рифлеными планками и охваченный кожухом с шероховатой поверхностью. В шасталке зерно перетирается, от него отбиваются ости и шелуха (шасталка применяется для ячменя и пшеницы); если работа шасталки не нужна, ее закрывают клапаном



Фиг. 10.

C_1. Тогда зерно идет по скату *Т* ко второй веялке, где подвергается вторичной очистке на решетах *У* и $У_1$ под действием струи воздуха от вентилятора *Ф*. Затем зерно на решете *Х* очищается от мелких примесей и оттуда червяком *Ц* передается в сортировальный цилиндр *Ч*. Если зерно не подвергается сортированию, то оно выпускается через выход *Ш* открыванием заслонки $Т_2$, расположенной под шнеком. В сортировальном цилиндре зерно разделяется на три сорта, выходящие через соответствующие отверстия в мешки.

Американские сложные М. (фиг. 10). Подача снопов в америк. М. производится обычно самоподавателем с бесконечным полотном. Снопы разрезаются особыми ножами (качающимися или вращающимися) и направляются к барабану, около которого часто ставится особый распределитель (ретардер), распределяющий солому по всей ширине барабана. Самоподаватель м. б. выключаем особым регулятором в том случае, если барабан начинает перегружаться и понижает число оборотов. При восстановлении барабаном нормального числа оборотов самоподаватель автоматически включается. За барабаном располагают битер—барабанчик, удерживающий солому от наматывания на барабан и направляющий ее на соломотряс. Соломотряс делается большого размера, ступенчатый; с него солома идет в кожух эксгаустера, к-рым выбрасывается по трубе прямо в скирду. Труба автоматически от механизма получает движение в ту и другую сторону для равномерной кладки в скирды. Зерно гл. обр. проваливается через подбарабанье и добавочную решетку и идет по скатной доске на грохот, являющийся ее продолжением. Мякина и оставшееся в соломе зерно проваливаются через отверстия соломотряса и также попадают на грохот, где мякина отделяется действием струи воздуха от нижнего вентилятора и перегоняется в кожух эксгаустера. На первом решете под грохотом отделяется невымолоченный колос, который сначала червяком, а затем элеватором передается снова в барабан. На втором решете зерно очищается от мелких примесей и подается на второй червяк, откуда оно элеватором поднимается кверху и пропускается через особый автоматический счетный аппарат — весы. Окончательно зерно идет по трубе в мешки или повозки. Вторая очистка обыкновенно не применяется и производится только по особому требованию.

Сложная клеверная М. имеет два барабана: один отделяет головки от соломы, а другой вытирает из головок зерно. Терочный барабан имеет б. ч. короткие рифленые зубья и охватывается зубчатым кожухом вокруг. Соломотряс при движении вперед и вверх отбрасывает солому, а при движении назад и вниз продвигает головки клевера по скатной доске к терочному барабану. Простая клеверная терка имеет бильный барабан с гладкими билами, охваченный кожухом, нижняя часть к-рого состоит из сита с отверстиями, пробитыми внутрь, вследствие чего поверхность получается шероховатой, а верхняя часть кожуха—из плетеного решета. Подача головок производится с одного края, а выход с другого края барабана. Барабан делает 1 000 об/м. Производительность сложных клеверных терок 120—200 *кг/ч*, а простых до 150 *кг* в день. Для молотьбы гороха на обычных М. приходится оставлять деку и понижать число об/м. до 400—500. Для молотьбы гороха существуют специальные М. с двумя барабанами. Для молотьбы риса надо понизить число оборотов на 10% и увеличить силу нижнего вентилятора. Для молотьбы кукурузы применяются особые молотилки—шеллеры и шредеры.

Производительность М. рассчитывается по формуле:

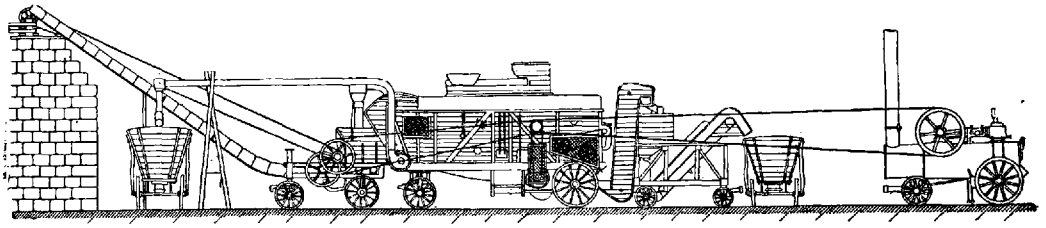
$$m' = 0{,}6\frac{75N(1-f)}{v^2},$$

где m'—масса снопов в 1 ск. Производительность конных М. считается 1 сноп на 1 лошадь в 1 м., вес снопа считается 7 *кг* при соотношении веса зерна к весу соломы как 1 : 2 для озимого хлеба и как 1 : $1^1/_2$ для ярового. Производительность сложных М. также считается 1 сноп на 1 HP в мин. Для сложных М. с бильным барабаном производительность *Q* за 10-часовой день рассчитывается по ф-ле Хвостова (в *кг*):

$$Q = \frac{0{,}3l \cdot n \cdot R}{6 \cdot 16},$$

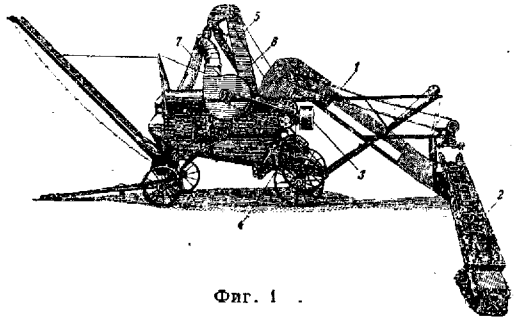
где *l*—длина барабана в *м*, *n*—число об/м. и *R*—число планок барабана. Расход мощ-

ности пропорционален длине и диаметру молотильного барабана. Для простых М. требуется двигатель в 3—8 Н, для сложных 8—30 Н и более. Расход мощности на рабочий ход в 3—4 раза больше мощности на холостой ход в зависимости от рода хлеба и его состояния. Расход мощности на отдельные рабочие органы для сложной америк. М. при холостом ходе примерно распределяется так: на барабан 10—20%, соломотряс 2—3%, вентилятор 7—10%, колосоподъемник 5%, элеватор 3—5%, решетный стан 2—3%, самоподаватель 5—10%, эксгаустер 40—50%, остальные рабочие части 5—10%. Расход мощности в европ. М. распределяется приблизительно так: на барабан 50%, соломотряс 5%, грохот 10%, вентилятор второй веялки 5%, элеватор 3%, шасталка 6% и сортировка 4%. На фиг. 11 видно расположение машин при работе на сложной европ. М. с соломотрясом, элеватором для соломы, транспортерами для подачи зерна и мякины в повозки и двигателем.



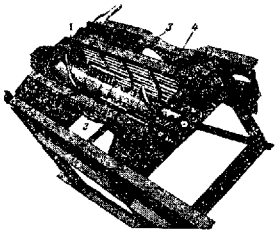
Фиг. 11.

М. кукурузная. Кукурузная М., или шелер, служит для вышелушивания зерна из початков, с к-рых оболочка предварительно снята, или из початков с оболочкой. Кукурузные шелеры бывают как простые, так и сложные, снабженные веялками для отделения примесей и пыли и элеваторами, служащими для подачи початков и отвода зерна. Кукурузные шелеры бывают двух родов: дисковые и барабанные. Примером дискового может служить ручная М. Здесь початок вставляют вертикально в воронку, и он захватывается снизу зубьями диска, зерно сыплется вниз, а стержень выскакивает вбок. Степень нажатия диска регулируется пружиной. Небольшие конные и моторные М. снабжаются такими же дисками и делаются на одну или две воронки. Сложный кукурузный шелер виден на фиг. 12. Справа расположен самоподаватель *1*, к которому иногда добавляется транспортер *2*; вымолачивание производится цилиндрич. или конич. барабаном, приводимым в работу от шкива *3*; зерно подвергается очистке на веялке от вентилятора *4*, очищенное зерно передается шнеком на элеватор *5*, откуда по рукавам высыпается в мешки; отделенные оболочки и примеси высасываются эксгаустером *6* и направляются в трубу, оканчивающуюся брезентовым рукавом *7*; стержни початков подхватываются особым элеватором, расположенным внутри камеры М., и выбрасываются в ковш, откуда поднимаются элеватором, расположенным слева *8*. На фиг. 13 виден цилиндрич. барабан шелера: слева на валу барабана насажен шнек *1* для подачи початков, посредине—била барабана *2*, справа—шнек для отвода стержней *3*; снизу барабан охвачен решеткой *4*, служащей декой, через к-рую проваливаются вымолоченные зерна.



Фиг. 12.

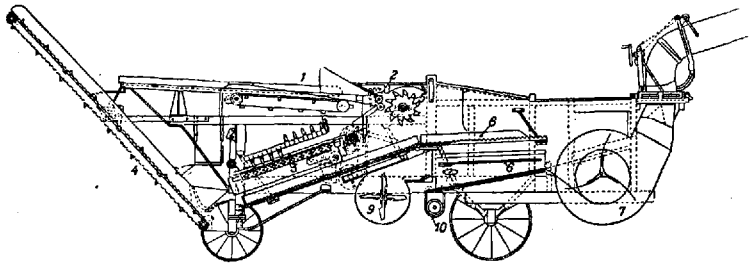
Производительность дискового шелера, снабженного пружиной для регулировки, считается следующей: для шелера с 2 приемными отверстиями—2 000 до 3 000 *кг/ч*, с 6 отверстиями 5 500—10 000 *кг/ч* и с 8-ю—10 000—14 000 *кг/ч*. При молотьбе початков с оболочками производительность считается вдвое меньшей. Барабанный шелер вышелушивает 10 000—19 000 *кг/ч* из початков без оболочек, а с оболочками—3 500—7 000 *кг/ч*. Очень крупные машины дают производительность до 50 000 *кг/ч*. Число оборотов барабана около 800 в м. Потребная мощность для дискового шелера малых размеров считается 6—8 Н, а для большого с 8 отверстиями—14—20 Н. При добавочном транспортере необходимо прибавить 2 Н, а при эксгаустере еще 2 Н. Барабанный шелер требует 25—30 Н для малых машин, до 50—75 Н для крупных.



Фиг. 13.

Другой тип кукурузной молотилки представляет собой хоскер-шредер, задача которой состоит в том, чтобы отделить початки от стеблей, снять с них оболочку и измельчить стебли; последнюю операцию выполняет специальная машина—шредер. Хоскер-шредер, строго говоря, не является молотилкой, так как он не выделяет зерна. На фиг. 14 дана его схема. Подача производится на бесконечное полотно *1*; отделенные вальцами *2* початки скатываются по решету *3* и попадают на элеватор *4*; стебли подвергаются разрезанию ножами *5* и передаются соломотрясом *6* в заднюю камеру, откуда они высасываются эксгаустером *7*

и отводятся по трубе *8*; оторванная оболочка отдувается вентилятором *9*; отбитое случайно зерно попадает в жолоб *10*, откуда шнеком передается на особый элеватор, с которого зерно ссыпается в мешки. Шредерный барабан делает 1 000 сб/м. Производительность



Фиг. 14.

хоскер-шредера с 2 вальками—5,3—7 *гл*, с 8 вальками—16—28 *гл* и с 12-ю—28—42 *гл*. Потребная мощность: для машины с 2 вальками—5—10 HP, с 8-ю—20—25 HP и с 12-ю—30—40 HP.

Лит.: Горячкин В. П., Молотилки, СПБ, 1905; его же, Земледельч. машины и орудия, М., 1923; его же, Теория барабана, «Вестник металлопромышленности», М., 1924, *4—6*; Ган В. Ю., Локомобиль и молотилка, М., 1925; его же, Заметки об определении усилий, развивающихся в молотилках от инерции ее качающихся органов, Петербург, 1911; его же, Сложные паровые молотилки, «Известия Донского политехническ. института», Новочеркасск, 1921; Алов А., Америк. самоподаватели, СПБ, 1906; Арцыбашев Д. Д., Америк. молотилки, СПБ, 1906; Каган М. М., Современные конные молотилки, СПБ, 1909; Иванов С., Локомобиль и молотилка, СПБ, 1913; Мак-Грегор, Инструкция для употребления машин Кейс, Одесса, 1909; Добровольский В. А., Локомобиль и молотилка, Одесса, 1923; Дебу К. И., Простые молотилки, П., 1922; Яшин З. М., К вопросу установления стандартного типа конно-ручной молотилки, Минск, 1926; Никифоров С. И., Сложная молотилка, Устройство молотилок и локомобиля, Работа их и обращение с ними, М.—Л., 1927; Шиловский К. П., Америк. сложная молотилка Адванс-Румели, М., 1929; его же, Справочник по с.-х. тракторному инвентарю, вып. 2, М., 1927; Криль Б. А., Новое в области сел.-хоз. машиностроения, М.—Л., 1928; Вейс Ю. А., Курс с.-х. машиноведения, 3 изд., М.—Л., 1929; Вальтер К., Сел.-хоз. машины и орудия, ч. 3, пер. с нем., Рига, 1923; Игнатовский Н. Ф., Теория барабана молотилки, «Вестник металлопромышленности», Москва, 1928, 2; «Вестник металлопромышленности», Москва, с 1923; «Машина в деревне», Москва, с 1929; Balassa Fr., Die Dreschmaschinen, Berlin—Mch., 1912; Fischer G., Landwirtschaftliche Maschinenkunde, Leipzig, 1928; Schwarzer K., Landmaschinenkunde, 3 Aufl., Berlin, 1927: Vormfelde K., Landmaschinen, Handbuch d. Landwirtschaft, hrsg. von F. Aereboe, I. Hansen u. Th. Rohmer, B. 3, B., 1928—29; «Die Technik in d. Landwirtschaft», Berlin; «Die Landmaschine», Berlin; «Agricultural Engineering», Clemens; «Farm Mechanics», Chicago; «The American Thresherman», Madison; «The Implement a. Machinery Review», L. **Б. Криль.**

МОЛОЧНАЯ КИСЛОТА, оксипропионовая, известна в двух изомерных формах: $CH_2(OH)\cdot CH_2\cdot COOH$ — этиленмолочная к-та и $CH_3\cdot CH(OH)\cdot COOH$ — этилиденмолочная, или М. к. брожения. Последняя, как имеющая асимметрич. атом углерода, образует два стереоизомера: *α*- и *β*-М. к.; хотя каждый из них м. б. получен в отдельности, однако чаще они встречаются в сочетании, давая оптически недеятельную, или рацемическую, М. к. Технич. значение имеет только этилиденмолочная к-та; в химически чистом виде она м. б. получена в виде кристаллов, уд. в. 1,24, сильно гигроскопических, легко расплывающихся и плавящихся при 18°; $t°_{кип.}$ 122° (при 15 *мм* рт. ст.); М. к. смешивается с водой и спиртом, мало растворима в эфире. М. к. легко теряет воду и превращается в лактид (см. *Лактоны*), имеющий $t°_{пл.}$ от 120 до 122°, а также, смотря по условиям, в ряд других веществ с более высоким мол. весом.

М. к. содержится в разнообразных пищевых продуктах: так, она присутствует в квасе (~0,6%); кислый вкус черного хлеба, сметаны, творога, простокваши зависит от содержания в этих продуктах М. к.; еще выше содержание М. к. в молочных продуктах целебного или диэтич. назначения (мечниковская простокваша, кумыс, кефир, айран), доходящее до 1%; в квашеной капусте, соленых огурцах, а также в силосованных кормах для скота М. к. является веществом, обусловливающим консервирование этих продуктов.

Промышленное получение М. к. основано на процессе молочнокислого брожения (способы получения М. к. чисто химич. путем, напр. действием щелочей на глюкозу, оказываются менее выгодными). Молочнокислые бактерии в подходящих условиях производят расщепление сахаров (глюкозы, мальтозы, тростникового сахара и пр.) на М. к. почти точно по ур-ию $C_6H_{12}O_6 = 2C_3H_6O_3$ (см. *Брожение*). Исходным материалом служит сахаристое вещество (глюкоза, мальтоза) или крахмал, который д. б. подвергнут предварительному осахариванию (диастазом или кислотой). Для нормального хода брожения необходимо присутствие нек-рых питательных веществ, главн. обр. азотистых; поэтому в бродильные чаны прибавляют солод или другие богатые азотом вещества. В. Шапошниковым и А. Мантейфелем предложен метод получения М. к., к-рый сводится к брожению глюкозы или другого сахара в среде, содержащей $CaCO_3$ и растворимые растительные белки типа глобулинов. Брожение ведется в высоких чанах, снабженных приспособлениями для обогрева и мешалкой для взмучивания мела. Заражение субстрата производится разводкой чистой культуры Bacillus acidificans longissimus, имеющей то преимущество, что эти бактерии развиваются и позволяют вести брожениие при 50—52°; эта *t°* устраняет опасность заражения чанов другими микроорганизмами. За ходом брожения следят, учитывая ежедневно имеющийся налицо в чане сахар (титрованием, фелинговой жидкостью или иным способом). При нормальном ходе процесса в сутки сбраживается ок. 1,5% сахара; процесс считается законченным, когда остаются лишь следы сахара, что при исходном содержании в 13% происходит через 8—10 дней; предельная концентрация сахара определяется растворимостью получающегося из него (в присутствии мела) лактата кальция. Когда брожение закончено, чаны прогревают до 70—80° для умерщвления бактерий (осветление чана) и проведения более полной нейтрализации

к-ты, после чего жидкости дают отстояться и сливают ее с осадка в кристаллизационные чаны, где она при остывании превращается в сплошную белую массу кристаллов, отделяемых от маточного раствора на центрифуге. Получающийся так. обр. молочнокислый кальций непосредственно или после перекристаллизации растворяют в возможно меньшем количестве горячей воды и разлагают осторожным прибавлением серной к-ты, прибавляемой при постоянном помешивании в количестве достаточном, чтобы связать весь кальций лактата в виде $CaSO_4$. После отфильтровывания $CaSO_4$ на фильтр-прессе жидкость упаривают в вакууме при умеренном нагревании до нужной концентрации. Полученная описанным образом техническая (~ 50%-ная) М. к. имеет светлокоричневую окраску, от которой она м. б. освобождена осторожным прибавлением таннина с последующим осветлением углем. Для получения более чистого продукта необходимо вести брожение в присутствии окиси цинка (вместо мела), так как лактат цинка значительно лучше очищается перекристаллизацией. Разложение молочнокислого цинка производится в горячем растворе сероводородом. Окончательная очистка М. к. (освобождение от следов цинка) производится в этом случае перегонкой М. к. в вакууме.

В технике М. к. находит широкое применение: в текстильной промышленности (как сама кислота, так и сурьмяная соль ее—лактат антимонила) при крашении и отделке тканей и шерсти, а также в кожевенном деле (потребляющем до 90% всей М. к.)—для декальцинирования и бучения кож. В свободном виде М. к. применяется в медицине для прижиганий (в гинекологии). Кроме того можно указать на весьма важное лекарственное значение различных солей М. к., из к-рых особенно большим распространением пользуется молочнокислое железо (Ferrum lacticum). В последнее время М. к. начинает применяться для замены более дорогих лимонной и винной к-т в пищевых продуктах. Промышленность Западной Европы с успехом пользуется М. к. при изготовлении кондитерских изделий, пива, лимонадов, фруктовых вод, экстрактов и эссенций.

Промышленное значение имеют также и производные М. к.—ее соли (т. наз. лактаты) и эфиры. Этиловый эфир М. к., $CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOC_2H_5$, получается нагреванием М. к. до 160° в закрытом сосуде с алкоголем или пропусканием паров алкоголя в М.к., нагретую до 170—180°; применяется для очистки сырой М. к.; в ситцепечатании этиллактат служит растворителем нигрозина и индулина, в лаковом производстве—растворителем для нитроцеллюлозы. Метиловый эфир М.к., $CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOCH_3$, служит растворителем ацетилцеллюлозы.

Лактаты металлов имеют большое применение в технике. Лактат натрия, $NaC_3H_5O_3$, густая бесцветная или желтоватая жидкость, легко растворимая в воде и спирте, применяется в медицине как сиотворное и как заменитель глицерина в технике под названием перглицерина. Лактат калия, $KC_3H_5O_3$, под названием перкаглицерина также служит заменителем глицерина. Лактаты магния, кальция, железа, цинка и висмута применяются в медицине; лактат Ca—также в хлебопечении (вместо кремортартара). Антимонлактат (сурьмы), $SbO(C_3H_5O_3)_2$, в соединении с таннином применяется в крашении и печатании в качестве протравы в виде препарата *антимонина* (см.). Лактаты титановой кислоты, отвечающие по составу (приблизительно) формулам $TiO_2(C_3H_6O_3)(C_3H_5O_3)_3Me_3$ и $TiO_2(C_3H_5O_3)_4Me_4$, служат протравой при крашении кожи.

Лит.: Шапошников В. и Мантейфель А., К физиологии Bacillus acidificans longissimus (B. Delbrücki) в связи с возможностью использования его для промышл. молочной кислоты, «Труды Научного хим.-фармац. ин-та», М., 1923, вып. 7; их же, Об одном усовершенствовании предложенного нами метода получения молочной кислоты, там же, 1927, вып. 18; Henneberg W., Handb. d. Gärungsbakteriologie. 2 Aufl., B. 1, 2, B., 1926. **В. Шапошников.**

Новейшие методы получения М. к. Мировое производство М. к. непрерывно растет: главными производителями ее являются США (с 1889 года), Германия и Англия. Сырьем для получения М. к. служат патока, крахмальный сахар, инвертированный тростниковый сахар и нек-рые виды колониальных орехов. В продажу М. к. поступает в виде сиропов или растворов разной концентрации (от 15 до 90%) и различной степени очистки; техническая темная и светлая, очищенная темная и светлая, химически чистая (для пищевой промышленности) и т. д. Техническая М. к. (22—44%-ная) имеет уд. в. 1,07—1,15 и должна содержать не более 4% ангидрида.

Тщательное химич. исследование продажной М. к., получаемой по методу брожения, показало, что этот продукт является очень сложной смесью, содержащей кроме собственно М. к. еще ряд продуктов ее дегидратации, а также различные минеральные загрязнения; так, при анализе концентрированной «чистой» М. к. (т. наз. «90—100%-ной») в ней было установлено присутствие следующих веществ:

а) М. к. брожения,

$$CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOH,$$

в количестве от 39,6 до 59,0%;

б) лактилмолочная кислота,

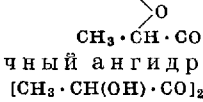
$$CH_3 \cdot CH(OH) \cdot CO \cdot O \cdot CH(CH_3) \cdot COOH,$$

дилактилмолочная кислота,

$$CH_3 \cdot CH(OH) \cdot CO \cdot O \cdot CH(CH_3) \cdot CO \cdot O \cdot CH(CH_3) \cdot COOH,$$

и высшие полилактилмолочные кислоты (общее содержание: 30,9 — 56,8%);

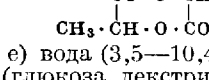
в) димолочная кислота,



г) молочный ангидрид,

$$[CH_3 \cdot CH(OH) \cdot CO]_2O \ (1—4\%);$$

д) лактид,



(0,14%); е) вода (3,5—10,4%); ж) органич. примеси (глюкоза, декстрины); з) минеральные соли (Fe, Ca, Mg). О методах определения самой М. к. и ее производных в рыночном продукте см. [1]. Для открытия М. к. в пищевых продуктах может служить реак-

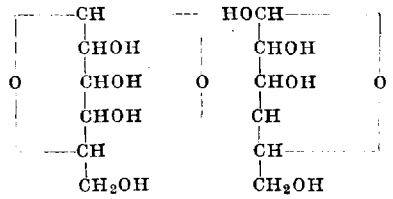
ция с раствором KCNS (15%-ным): оранжевая или красная окраска, не исчезающая от прибавления $HgCl_2$ [2]. Для качественной характеристики М. к. служит ее соль с хинином, имеющая $t°_{пл.}$ 165°.

Новые заграничные патенты по получению М. к. вводят некоторые усовершенствования в технику бродильного процесса. Имеются например предложения активировать жизнедеятельность бактерий (и препятствовать возникновению маслянокислого брожения) путем продувания в жидкость воздуха или кислорода, применяя периодич. нейтрализацию образующейся М. к. малыми порциями мела или извести и т. д. Интересным является также предложение готовить М. к. из несбраживаемых пентоз — отбросов при получении спирта из осахаренной древесины (составляющих от 35 до 65% общей массы получаемого сахара); эти пентозы сбраживаются вновь открытым видом бактерий при температуре 27° и дают смесь уксусной к-ты и М. к. [3]. Для концентрирования растворов М. к. рекомендуются вакуум-аппараты с медной, бронзовой или свинцовой внутренней обкладкой. Для очистки и осветления технической М. к. кроме угля предложена обработка азотной к-той (при 85—95°), силикагелем, кизельгуром и т. п. [4]. Наконец вместо выпаривания или перегонки в вакууме предложено извлечение М. к. подходящими растворителями [5].

Лит.: 1) Eder R. u. Kutter F., «Helvetica chimica acta», Basel, 1926, B. 9, p. 557; 2) Germuth F., «I. Eng. Chem.», 1927, v. 19, p. 852; 3) Marten E., Sherrard E., Peterson W. a. Fred E., ibid, p. 1162; 4) Ф. П. 582402/26; Г. П. 446865/27; 5) Ан. П. 290464/27.—Wagner A., Die Herstellung von Essigsäure, Gärungessig, Buttersäure, Zitronensäure und Milchsäure, B. 2, Wien—Leipzig, 1926; Хайкин М. И., «ЖХП», 1927, т. 4, p. 908; «Chemical and Metallurgical Engineering», New York, 1926, v. 33, p. 423.

В. Янковский.

МОЛОЧНЫЙ САХАР, или лактоза, $C_{12}H_{22}O_{11}$, принадлежит к дисахаридам (биозам) и является единственным углеводом, находящимся в молоке млекопитающих (в коровьем молоке 4—5%, в женском 5—5,5%); в растительном мире М. с. не найден. Наиболее вероятное строение М. с.:



β < 1, 5 > галактозидо-4 < 1, 5 > глюкоза *

М. с. образует бесцветн. кристаллы сладковатого вкуса. Имеются две формы М. с.: α и β. Первая получается при кристаллизации из холодных растворов, а вторая — при кристаллизации из растворов, имеющих температуру выше 93°. Продажный препарат М. с. представляет собою гидрат с одной частицей воды — $C_{12}H_{22}O_{11}\cdot H_2O$; он имеет уд. вес 1,525; при нагревании до 87° начинает плавиться; при 100—110° он постепенно теряет всю кристаллизационную воду; нагревание до 150—165° вызывает побурение; при 170—180° наступает т.н. карамелизация; $t°_{пл.}$ (с разложением) около 200°. В растворах М. с. присутствуют обе его формы: α и β. Растворимость М. с. в воде: при 0°—10,6% (4,0% α-формы и 6,6% β-формы); при 20°—16,1% (6,2% α и 9,9% β); при 50°—30,4% (12,1% α и 18,3% β); при 100°—61,2% (26,3% α и 34,9% β). В спирте и эфире М. с. нерастворимы. Уд. вес водных растворов при 20° (по Шмегеру):

Концентрация в %	Уд. в.	Концентрация в %	Уд. в.
2,3544	1,0071	14,8548	1,0566
5,0949	1,0731	20.0506	1,0783
10,1650	1,0376	24,7852	1,0992

Удельное вращение растворов М. с. почти не зависит от концентрации, но в сильной степени зависит от $t°$. Общая ф-ла для удельного вращения М. с. дана Гетпером:

$$[\alpha]_D = +55{,}3 - 0{,}06\,(t - 20).$$

В среднем $[\alpha]_D^{20} = +55{,}24°$; для α-формы $[\alpha]_D^{20} = +90°$, для β-формы $[\alpha]_D^{20} = +35°$. М. с. обладает свойством *мутаротации* (см.); у свежеприготовленных растворов $[\alpha]_D = 85 \div 90°$; нормальное удельн. вращение достигается после 24-ч. стояния либо при нагревании до кипения или прибавлении аммиака. 1 *г* М. с. восстанавливает 148 *см*³ фелингова реактива (приготовленного по Сокслету); щелочами М. с. окрашивается в желтый цвет, с фенилгидразином дает озазон, который плавится, разлагаясь, при $t°$ 213—215°; при окислении HNO_3 М. с. дает слизевую кислоту. Продолжительная инверсия сильными кислотами вызывает гидролитическое распадение молочного сахара на d-глюкозу и d-галактозу:

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = \underset{\text{d-глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{d-галактоза}}{C_6H_{12}O_6}.$$

Распадение М. с. может происходить и под влиянием микроорганизмов при помощи особых энзимов — лактаз; они расщепляют М. с. и оба продукта расщепления переводят в *молочную кислоту* (см.). В технике молочного хозяйства имеют важное значение следующие виды брожения: молочнокислое (скисание молока), спиртовое (приготовление кефира, кумыса, айрана), пропионовое (в сыре) и маслянокислое (вызывающее пороки масла).

Аналитическое определение М. с. Качественно М. с. открывается следующими реакциями. 1) Испытуемую жидкость насыщают при нагревании уксуснокислым свинцом; затем осторожно прибавляют аммиака до растворения первоначально образующегося осадка и кипятят 2—3 минуты: смесь окрашивается в красный или оранжевый цвет. 2) К исследуемому раствору прибавляют HNO_3 (удельного веса 1,14), выпаривают на водяной бане до $^1/_5$ объема и оставляют стоять 12—20 ч., после чего смешивают с небольшим количеством воды: выпадают кристаллы слизевой к-ты, к-рые отсасывают, промывают небольшим количеством воды, высушивают и определяют по $t°_{пл.}$ (213°). Количественно М. с. определяется поляриметрич. путем или весовым при помощи фелингова реактива.

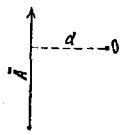
Технически М. с. получается из молочной сыворотки. После осаждения из молока казеина при помощи сычужного фермента — ляба, сыворотку отфильтровывают и в присутствии углекислого кальция упаривают под уменьшенным давлением; выделившийся М. с. вновь растворяют, обесцвечи-

* Числа в скобках < > показывают номера атомов углерода, связанных кислородным мостиком.

вают кипячением с углем, сгущают и перекристаллизовывают. М. с. применяется главным обр. как пищевой продукт — для искусственного вскармливания младенцев и в различных питательных препаратах; незначительные количества его идут на приготовление некоторых гигиенических препаратов (например таблеток для дезинфекции рта) и как примесь к казеиновым краскам (при крашении бумаги). В военной и декоративной пиротехнике, в театральной технике и т. п. М. с. находит применение как составная часть горючих дымовых смесей и фейерверков, играя в них роль дымообразующего или замедляющего горение вещества.

Лит.: Инихов Г. С., Химия молока и молочных продуктов, Химико-физич. свойства, ч. 1—Молоко, его составные части, 2 изд., М.—Л., 1928; Lippmann E., Chemie der Zuckerarten, 3 Aufl., B. 2, p. 1520—1584, Braunschweig, 1904; Oppenheimer C., Die Fermente und ihre Wirkung, B. 1—5, Leipzig, 1925—29. **И. Щербаков.**

МОМЕНТ, в широком обобщенном смысле произведение двух величин различных физических размерностей, причем одна из этих величин является длиной или степенью длины. Если вторая величина м. б. разбита на элементы, то М. составляется из суммы отдельных элементарных М. Первая величина—длина—геометрически изображается отрезком, вторая—либо точкой либо направленным отрезком. Обычно наименование М. относят к этой второй величине, т. е. говорят о моменте этой второй величины. При вычислении М., а также при геометрич. изображении его, всегда ориентируются или относительно какой-нибудь определенной точки (полюс, центр М.) или относительно прямой (ось), иногда относительно плоскости. М. придают либо только численное значение (существенно положительный М.) либо приписывают кроме того и знак плюс или минус. Пусть один множитель произведения, составляющего М., выражается направленным отрезком, т. е. вектором $\boldsymbol{A}$ (фиг. 1); задаемся точкой O в качестве полюса. Численное значение для М. вектора $\boldsymbol{A}$ будет произведение $A \cdot d$, где d—длина перпендикуляра из точки O на направление вектора $\boldsymbol{A}$ (d—длина, о которой говорится в определении момента). Меняя направление вектора $\boldsymbol{A}$ на противоположное, мы согласно определению получим то же самое численное значение для М. Между тем в практич. вопросах желательно различать эти два случая. Для этой цели приписывают М. в одном случае знак плюс, а в другом минус (в каком случае плюс и в каком минус—зависит от условия), например исходя из следующего соображения. Воображая плоскость через данный вектор $\boldsymbol{A}$ и точку O, укрепленную в полюсе O, вращают эту плоскость по направлению вектора вокруг точки O; если вращение происходит по движению часовой стрелки, то М. приписывают знак плюс, в противном случае—знак минус. В этом условии имеется неопределенность: одно и то же вращение будет казаться происходящим и по движению часовой стрелки и против, в зависимости от расположения наблюдателя над или под плоскостью вращения. Однако при постоянстве места наблюдателя два различных вращения всегда будут отмечены разными знаками у М., чего в сущности и достаточно. Впрочем эту неопределенность легко устранить введением понятия о лицевой стороне и изнанке плоскости или изображая момент вектором, перпендикулярным плоскости, проходящей через данный вектор $\boldsymbol{A}$ и точку O, и условившись направлять вектор М. согласно правилу штопора.



Фиг. 1.

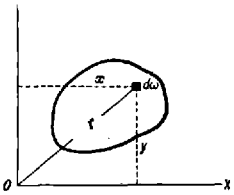
В интерпретации *векторного исчисления* (см.) момент $\boldsymbol{M}$ вектора $\boldsymbol{A}$ относительно полюса O можно представить в виде векторного произведения

$$\boldsymbol{M} = [\boldsymbol{r}\boldsymbol{A}],$$

где $\boldsymbol{r}$—радиус-вектор начальной точки данного вектора $\boldsymbol{A}$ относительно точки O.

Отнесем данный вектор $\boldsymbol{A}$ к произвольной прямой l, принимаемой за ось М. Для построения и вычисления М. вектора $\boldsymbol{A}$ относительно оси l поступают след. обр. Проводят плоскость S перпендикулярно к оси l; пусть точка пересечения плоскости с осью будет O; проектируют данный вектор $\boldsymbol{A}$ на эту плоскость S и определяют М. проекции вектора $\boldsymbol{A}$ на плоскость S относительно полюса O; этот М. и называют М. вектора $\boldsymbol{A}$ относительно оси. **Д. Колянковский.**

М. инерции плоских фигур. При изучении изгиба, кручения, в задачах гидростатики приходится встречаться с М. инерции плоских фигур. Осевым, или экваториальным, М. инерции плоской фигуры относительно оси OX, лежащей в ее плоскости (фиг. 2), называется предел суммы произведений из элементарных площадок $d\omega$ этой фигуры на квадрат расстояний их y от оси OX:



Фиг. 2.

$$I_X = \int\limits_{(\omega)} y^2\, d\omega, \qquad (1)$$

где интегрирование распространено по всей площади ω. Подобным же образом относительно оси OY:

$$I_Y = \int\limits_{(\omega)} x^2\, d\omega. \qquad (2)$$

Полярным М. инерции этой же фигуры относительно точки O называется

$$I_O = \int\limits_{(\omega)} r^2\, d\omega, \qquad (3)$$

где r—расстояние элемента $d\omega$ от точки O. Ясно, что

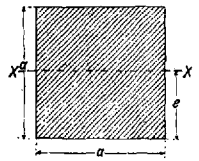
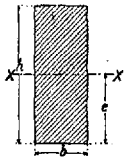
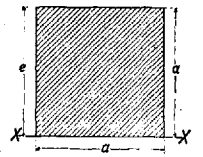
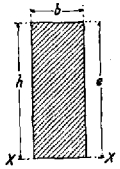
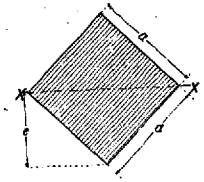
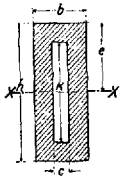
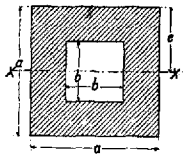
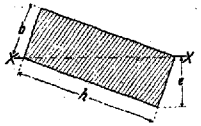
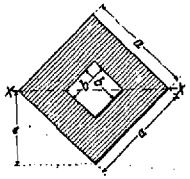
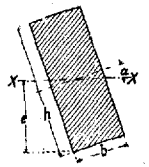
$$I_O = I_X + I_Y. \qquad (4)$$

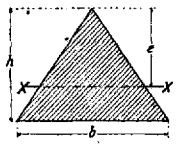
Центробежным М. инерции относительно двух осей OX и OY называется

$$I_{XY} = \int\limits_{(\omega)} xy\, d\omega. \qquad (5)$$

Размерность всех этих величин—[длина]^4. М. инерции всегда положительны и отличны от 0; центробежный момент м. б. положительным, отрицательным или же нулем. Если точка O совпадает с ц. т. C плоской фигуры (фиг. 3), то соответственные М. инерции

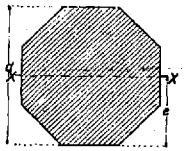
Табл. 1.—Площади ω, моменты инерции I_X, моменты сопротивления W_X и радиусы инерции ϱ_X плоских фигур.
(e—расстояние от нейтральной оси сечения до наиболее удаленной точки его.)

	$\omega = a^2,\ e = \frac{a}{2};\ I_X = \frac{a^4}{12};$ $W_X = \frac{a^3}{6};\ \varrho_X = \frac{a}{\sqrt{12}} \cong 0{,}289a$		$\omega = bh,\ e = \frac{h}{2};\ I_X = \frac{bh^3}{12};$ $W_X = \frac{bh^2}{6};\ \varrho_X = \frac{h}{\sqrt{12}} \cong 0{,}289h$
	$\omega = a^2,\ e = a;\ I_X = \frac{a^4}{3};$ $W_X = \frac{a^3}{3};\ \varrho_X = \frac{a}{\sqrt{3}} \cong 0{,}577a$		$\omega = bh,\ e = h;\ I_X = \frac{bh^3}{3};$ $W_X = \frac{bh^2}{3};\ \varrho_X = \frac{h}{\sqrt{3}} \cong 0{,}577h$
	$\omega = a^2,\ e = \frac{a}{\sqrt{2}} \cong 0{,}707a;\ I_X = \frac{a^4}{12};$ $W_X = \frac{a^3}{6\sqrt{2}} \cong 0{,}118a^3;\ \varrho_X = \frac{a}{\sqrt{12}} \cong 0{,}289a$		$\omega = bh - kc,\ e = \frac{h}{2};\ I_X = \frac{bh^3 - ck^3}{12};$ $W_X = \frac{bh^3 - ck^3}{6h};$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{bh^3 - ck^3}{12(bh - ck)}} \cong 0{,}289\sqrt{\frac{bh^3 - ck^3}{bh - ck}}$
	$\omega = a^2 - b^2,\ e = \frac{a}{2};\ I_X = \frac{a^4 - b^4}{12};$ $W_X = \frac{a^4 - b^4}{6a};\ \varrho_X = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}} \cong 0{,}289\sqrt{a^2 + b^2}$		$\omega = bh,\ e = \frac{bh}{\sqrt{b^2 + h^2}};\ I_X = \frac{b^3h^3}{6b^2 + h^2};$ $W_X = \frac{b^2h^2}{6\sqrt{b^2 + h^2}};\ \varrho_X = \frac{bh}{\sqrt{6(b^2 + h^2)}} \cong 0{,}408\frac{bh}{\sqrt{b^2 + h^2}}$
	$\omega = a^2 - b^2,\ e = \frac{a}{\sqrt{2}} \cong 0{,}707a;\ I_X = \frac{a^4 - b^4}{12};$ $W_X = \frac{\sqrt{2}(a^4 - b^4)}{12a} \cong 0{,}118\frac{a^4 - b^4}{a};$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{12}} \cong 0{,}289\sqrt{a^2 + b^2}$		$\omega = bh, e = \frac{1}{2}(h\cos\alpha + b\sin\alpha);\ I_X = \frac{bh}{12}(h^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha);$ $W_X = \frac{bh}{6}\left(\frac{h^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha}{h\cos\alpha + b\sin\alpha}\right);$ $\varrho_X = \sqrt{\frac{h^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha}{12}} \cong$ $\cong 0{,}289\sqrt{h^2\cos^2\alpha + b^2\sin^2\alpha}$



$$\omega = \frac{bh}{2},\quad e = \frac{2h}{3};\quad I_X = \frac{bh^3}{36};$$

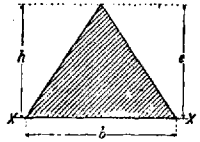
$$W_X = \frac{bh^2}{24};\quad \varrho_X = \frac{h}{\sqrt{18}} \cong 0{,}236h$$



$$\omega = 2d^2 \operatorname{tg}\frac{\pi}{8} \cong 0{,}8284d^2,\ e = \frac{d}{2};\ I_X = \frac{\omega}{12}\left[\frac{d^2\left(1+2\cos^2\frac{\pi}{8}\right)}{4\cos^2\frac{\pi}{8}}\right] \cong 0{,}055d^4;$$

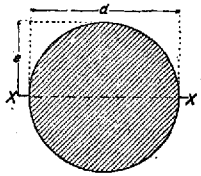
$$W_X = \frac{\omega}{6}\left[\frac{d\left(1+2\cos^2\frac{\pi}{8}\right)}{4\cos^2\frac{\pi}{8}}\right] \cong 0{,}109d^3;$$

$$\varrho_X = \sqrt{\frac{d^2\left(1+2\cos^2\frac{\pi}{8}\right)}{48\cos^2\frac{\pi}{8}}} \cong 0{,}257d$$



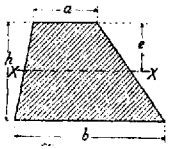
$$\omega = \frac{bh}{2},\ e = h;\ I_X = \frac{bh^3}{12};$$

$$W_X = \frac{bh^2}{12};\ \varrho_X = \frac{h}{\sqrt{6}} \cong 0{,}408h$$



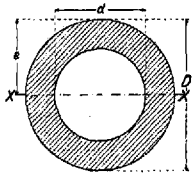
$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} \cong 0{,}7854d^2,\ e = \frac{d}{2};\ I_X = \frac{\pi d^4}{64} \cong 0{,}04909d^4;$$

$$W_X = \frac{\pi d^3}{32} \cong 0{,}09817d^3;\ \varrho_X = \frac{d}{4}$$



$$\omega = \frac{h}{2}(a+b),\ e = \frac{h(a+2b)}{3(a+b)};\ I_X = \frac{h^3(a^2+4ab+b^2)}{36(a+b)};$$

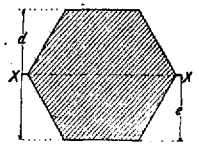
$$W_X = \frac{h^2(a^2+4ab+b^2)}{12(a+2b)};\ \varrho_X = \sqrt{\frac{h^2(a^2+4ab+b^2)}{18(a+b)^2}}$$



$$\omega = \frac{\pi}{4}(D^2-d^2) \cong 0{,}7854(D^2-d^2),\ e = \frac{D}{2};$$

$$I_X = \frac{\pi(D^4-d^4)}{64} = 0{,}04909(D^4-d^4);$$

$$W_X = \frac{\pi(D^4-d^4)}{32D} \cong 0{,}09817\frac{D^4-d^4}{D};\ \varrho_X = \frac{\sqrt{D^2+d^2}}{4}$$

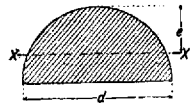


$$\omega = \frac{3}{2}d^2 \operatorname{tg} 30^\circ \cong 0{,}866d^2,\ e = \frac{d}{2};$$

$$I_X = \frac{\omega}{12}\left[\frac{d^2(1+2\cos^2 30^\circ)}{4\cos^2 30^\circ}\right] \cong 0{,}06014d^4;$$

$$W_X = \frac{\omega}{6}\left[\frac{d(1+2\cos^2 30^\circ)}{4\cos^2 30^\circ}\right] \cong 0{,}12027d^3;$$

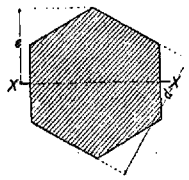
$$\varrho_X = \sqrt{\frac{d^2(1+2\cos^2 30^\circ)}{48\cos^2 30^\circ}} \cong 0{,}264d$$



$$\omega = \frac{\pi d^2}{8} \cong 0{,}3927d^2,\ e = \frac{(3\pi-4)d}{6\pi} \cong 0{,}2878d;$$

$$I_X = \frac{(9\pi^2-64)d^4}{1152\pi} \cong 0{,}00686d^4;$$

$$W_X = \frac{(9\pi^2-64)d^3}{192(3\pi-4)} \cong 0{,}02383d^3;\ \varrho_X = \frac{\sqrt{(9\pi^2-64)d^2}}{12\pi} \cong 0{,}1321d$$

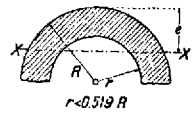


$$\omega = \frac{3}{2}d^2 \operatorname{tg} 30^\circ \cong 0{,}866d^2,\ e = \frac{d}{2\cos 30^\circ} \cong 0{,}577d;$$

$$I_X = \frac{\omega}{12}\left[\frac{d^2(1+2\cos^2 30^\circ)}{4\cos^2 30^\circ}\right] \cong 0{,}06014d^4;$$

$$W_X = \frac{\omega}{12e}\left[\frac{d^2(1+2\cos^2 30^\circ)}{4\cos^2 30^\circ}\right] \cong 0{,}1042d^3;$$

$$\varrho_X = \sqrt{\frac{d^2(1+2\cos^2 30^\circ)}{48\cos^2 30^\circ}} \cong 0{,}264d$$

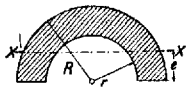


$$\omega = \frac{\pi(R^2-r^2)}{2} \cong 1{,}5708(R^2-r^2),\ e = \frac{4}{3\pi}\cdot\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2} \cong 0{,}4244\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2};$$

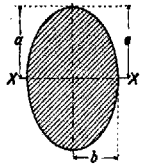
$$I_X = 0{,}1098(R^4-r^4) - \frac{0{,}283R^2r^2(R-r)}{R+r};$$

$$W_X = \frac{I_X}{e};\quad \varrho_X = \sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$

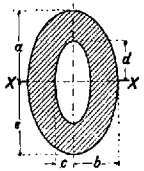
Табл. 1.—Площади ω, моменты инерции I_X, моменты сопротивления W_X и радиусы инерции ϱ_X плоских фигур.
(e—расстояние от нейтральной оси сечения до наиболее удаленной точки его.) (Продолжение.)



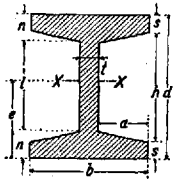
$$\omega \cong 1{,}5708(R^2-r^2),$$
$$e=\frac{3\pi-4}{3\pi}\cdot\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2}\cong 0{,}5756\,\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2};$$
$$I_X=0{,}1098(R^4-r^4)-\frac{0{,}283\,R^2r^2(R-r)}{R+r};$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



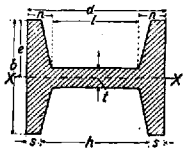
$$\omega=\pi ab\cong 3{,}1416\,ab,\quad e=a;\quad I_X=\frac{\pi a^3b}{4}\cong 0{,}7854a^3b;$$
$$W_X=\frac{\pi a^2b}{4}\cong 0{,}7854a^2b;\quad \varrho_X=\frac{a}{2}$$



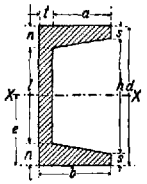
$$\omega=\pi(ab-cd)\cong 3{,}1416\,(ab-cd),\quad e=a;$$
$$I_X=\frac{\pi}{4}(a^3b-d^3c)\cong 0{,}7854(a^3b-d^3c);$$
$$W_X=\frac{\pi(a^3b-d^3c)}{4a}\cong 0{,}7854\,\frac{a^3b-d^3c}{a};\quad \varrho_X=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{a^3b-d^3c}{ab-cd}}$$



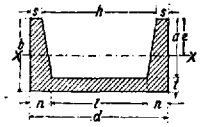
$$\omega=dt+2a(s+n),\quad e=\frac{d}{2};\quad I_X=\frac{1}{12}\left[bd^3-\frac{1}{4g}(h^4-l^4)\right];^{*1}$$
$$W_X=\frac{1}{6d}\left[bd^3-\frac{1}{4g}(h^4-l^4)\right];^{*1}$$
$$\varrho_X=\sqrt{\frac{\frac{1}{12}\left[bd^3-\frac{1}{4g}(h^4-l^4)\right]}{dt+2a(s+n)}}\,^{*1}$$



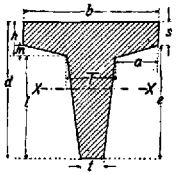
$$\omega=dt+2a(s+n),\quad e=\frac{b}{2};$$
$$I_X=\frac{1}{12}\left[b^3(d-h)+lt^3+\frac{g}{4}(b^4-t^4)\right];^{*1}$$
$$W_X=\frac{1}{6b}\left[b^3(d-h)+lt^3+\frac{g}{4}(b^4-t^4)\right];^{*1}\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



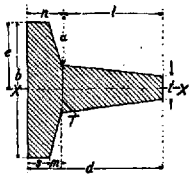
$$\omega=dt+a(s+n),\quad e=\frac{d}{2};\quad I_X=\frac{1}{12}\left[bd^3-\frac{1}{8g}(h^4-l^4)\right];^{*2}$$
$$W_X=\frac{1}{6d}\left[bd^3-\frac{1}{8g}(h^4-l^4)\right];^{*2}$$
$$\varrho_X=\sqrt{\frac{bd^3-\frac{1}{8g}(h^4-l^4)}{12[dt+a(s+n)]}}\,^{*2}$$



$$\omega=dt+a(s+n),\quad e=b-\frac{b^2s+\frac{ht^2}{2}+\frac{g}{3}(b-l)^2(b+2t)}{dt+a(s+n)}\,^{*2};$$
$$I_X=\frac{1}{3}\left[2sb^3+lt^3+\frac{g}{2}(b^4-t^4)\right]-\omega(b-e)^2;^{*2}$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



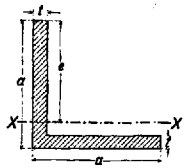
$$\omega=\frac{l(T+t)}{2}+Tn+a(s+n),$$
$$e=d-\frac{3s^2(b+T)+2am(m+3s)}{0{,}5l(T+t)+Tn+a(s+n)}+$$
$$+\frac{3l\,d^2-l(T-t)(3d-l)}{0{,}5l(T+t)+Tn+a(s+n)};$$
$$I_X=\frac{1}{12}\left[l^3(T+3t)+4bn^3-2am^3\right]-\omega(d-e-n)^2;$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



$$\omega=0{,}5l(T+t)+Tn+a(s+n),\quad e=\frac{b}{2};$$
$$I_X=\frac{sb^3+mT^3+lt^3}{12}+\frac{am[2a^2+(2a+3T)^2]}{36}+$$
$$+\frac{l(T-t)[(T-t)^2+2(T+2t)^2]}{144};$$
$$W_X=\frac{I_X}{e};\quad \varrho_X=\sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$

*1 g—уклон полок, равный $\operatorname{tg}\alpha=\frac{h-l}{b-t}$, где α—уклон внутрен. полки к горизонту.

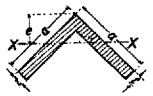
*2 g—уклон полок, равный $\operatorname{tg}\alpha=\frac{h-l}{2(b-t)}$, где α—уклон внутрен. полки к горизонту.



$$\omega = t(2a - t),\quad e = a - \frac{a^2 + at - t^2}{2(2a - t)};$$

$$I_X = \frac{1}{3}[te^3 + a(a-e)^3 - (a-t)(a-e-t)^3];$$

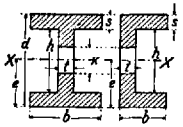
$$W_X = \frac{I_X}{e};\quad e_X = \sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



$$\omega = t(2a - t),\quad e = \frac{a^2 + at - t^2}{2(2a - t)\cos 45^\circ};$$

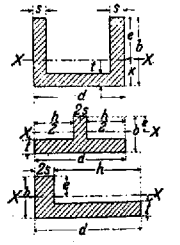
$$I_X = \frac{2h^4}{3} + \frac{2(h-t)^4}{3} + \frac{t}{24}(2a - 4h + t)^3,\ \text{где } h = e\cos 45^\circ;$$

$$W_X = \frac{I_X}{e};\quad e_X = \sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



$$\omega = bd - ht - h(b-t),\quad e = \frac{d}{2};\quad I_X = \frac{b(d^3 - h^3) + t(h^3 - k^3)}{12};$$

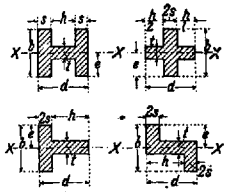
$$W_X = \frac{b(d^3 - h^3) + t(h^3 - k^3)}{6d};\quad e_X = \sqrt{\frac{b(d^3 - h^3) + t(h^3 - k^3)}{12[bd - ht - h(b-t)]}}$$



$$\omega = bd - h(b-t),\quad e = b - k,\ \text{где } k = \frac{2b^2 s + ht^2}{4bs + 2ht};$$

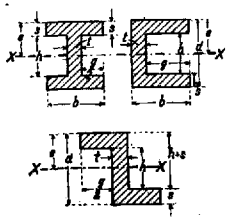
$$I_X = \frac{1}{3}[dk^3 - h(k-t)^3 + 2se^3];$$

$$W_X = \frac{dk^3 - h(k-t)^3 + 2se^3}{3(b-k)};\quad e_X = \sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$



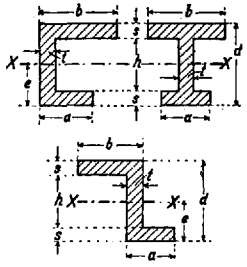
$$\omega = 2bs + ht,\quad e = \frac{b}{2};\quad I_X = \frac{2sb^3 + ht^3}{12};$$

$$W_X = \frac{2sb^3 + ht^3}{6b};\quad e_X = \sqrt{\frac{2sb^3 + ht^3}{24bs + 12ht}}$$



$$\omega = dt + 2gs,\quad e = \frac{d}{2};\quad I_X = \frac{bd^3 - gh^3}{12};$$

$$W_X = \frac{bd^3 - gh^3}{6d};\quad e_X = \sqrt{\frac{bd^3 - gh^3}{12dt + 24gs}}$$

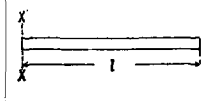
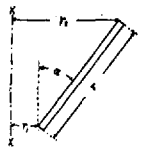
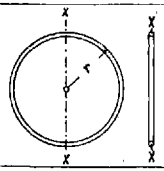
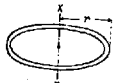
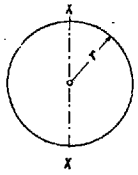
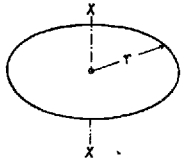
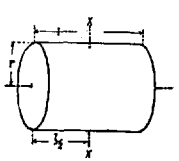
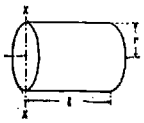
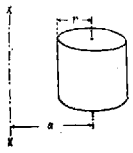
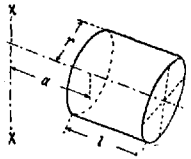
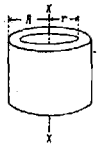
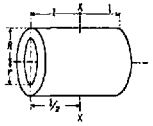


$$\omega = s(a+b) + th,\quad e = d - \frac{td^2 + s^2(b-t) + s(a-t)(2d-s)}{s(a+b) + th};$$

$$I_X = \frac{1}{3}[b(d-e)^3 + ae^3 - (b-t)(d-e-s)^3] - \frac{1}{3}(a-t)(e-s)^3;$$

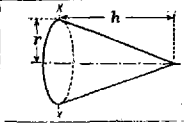
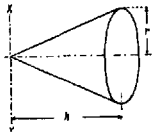
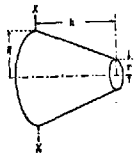
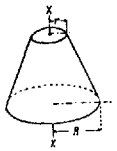
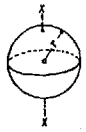
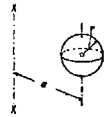
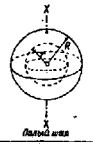
$$W_X = \frac{I_X}{e};\quad e_X = \sqrt{\frac{I_X}{\omega}}$$

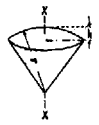
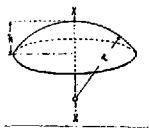
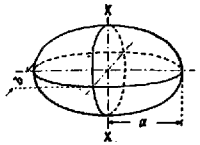
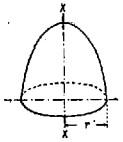
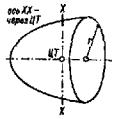
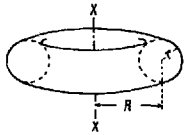
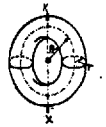
Табл. 2. — Моменты и радиусы инерции тел с массой M.

Род тела	Эскиз	Момент инерции I_X	Радиус инерции ϱ_X
Стержень пренебрегаемо-малого поперечного сечения		$\frac{1}{12} Ml^2$	$0{,}2886\,l$
		$\frac{1}{3} Ml^2$	$0{,}5773\,l$
		$\frac{1}{3} M(r_2-r_1)^2 + Mr_1r_2 = \frac{1}{3} Ml^2 \sin^2\alpha + Mr_1^2 + Mr_1 l \sin\alpha$	$0{,}5773\sqrt{3r_1r_2+(r_2-r_1)^2}$
		$\frac{Mr^2}{2}$	$0{,}7071r$
		Mr^2	r
Пластина пренебрегаемо-малой толщины		$\frac{Mr^2}{4}$	$0{,}5r$
		$\frac{Mr^2}{2}$	$0{,}7071r$
Круговой цилиндр		$\frac{M}{12}(l^2+3r^2)$	$0{,}2886\sqrt{l^2+3r^2}$
		$\frac{M}{12}(4l^2+3r^2)$	$\sqrt{\frac{l^2}{3}+\frac{r^2}{4}}$
		$M\left(a^2+\frac{r^2}{2}\right)$	$\sqrt{a^2+\frac{r^2}{2}}$
		$M\left(\frac{l^2}{3}+\frac{r^2}{4}+a^2+al\right)$	$\sqrt{\frac{l^2}{3}+\frac{r^2}{4}+a^2+al}$
		$\frac{M}{2}(R^2+r^2)$	$0{,}7071\sqrt{R^2+r^2}$
		$\frac{M}{12}[l^2+3(R^2+r^2)]$	$0{,}2886\sqrt{l^2+3(R^2+r^2)}$

Круговой цилиндр	$\frac{Mr^2}{2}$	$0{,}7071r$	Прямой круговой конус	$\frac{3M}{10}r^2$	$0{,}5477r$	$\frac{3M}{20}\left(r^2+\frac{h^2}{4}\right)$	$0{,}3873\sqrt{r^2+\frac{h^2}{4}}$
Пластина пренебрегаемо-малой толщины	$\frac{2Mr^2}{3}$	$0{,}8165r$	Пирамида с прямоугольным основанием	$\frac{M}{20}(a^2+b^2)$	$0{,}2236\sqrt{a^2+b^2}$	$\frac{M}{20}\left(\frac{3}{4}h^2+a^2\right)$	$0{,}2236\sqrt{\frac{3}{4}h^2+a^2}$
	$\frac{M}{12}(l^2+6r^2)$	$0{,}2886\sqrt{l^2+6r^2}$		$M\left(\frac{4a^2+b^2}{12}+r^2+ar\right)$	$0{,}2236\sqrt{\frac{4a^2+b^2}{12}+r^2+ar}$		
	$M\left(\frac{h^2}{3}+r_1^2+r_1h\right)$	$\sqrt{\frac{h^2}{3}+r_1^2+r_1h}$	Прямоугольный параллелепипед	$\frac{M}{12}(4a^2+b^2)$	$0{,}2886\sqrt{4a^2+b^2}$		
	$\frac{1}{3}Ml^2$	$0{,}5773\,l$		$\frac{M}{12}(a^2+b^2)$	$0{,}2886\sqrt{a^2+b^2}$		
	$\frac{1}{12}Ml^2$	$0{,}2888\,l$					
	$\frac{M}{4}(R^2+r^2)$	$0{,}5\sqrt{R^2+r^2}$					

Табл. 2.—Моменты и радиусы инерции тел с массой M. (Продолжение.)

Род тела	Эскиз	Момент инерции I_X	Радиус инерции ϱ_X
Прямой круговой конус		$\frac{M}{20}(3r^2+2h^2)$	$0{,}2236\sqrt{3r^2+2h^2}$
		$\frac{M}{20}(3r^2+12h^2)$	$0{,}2236\sqrt{3r^2+12h^2}$
Прямой круговой усеченный конус		$\frac{M}{10}\left[h^2\left(\frac{R^2+3Rr+r^2}{R^2+Rr+r^2}\right)+\frac{3(R^5-r^5)}{20(R^3-r^3)}\right]$	$\sqrt{\frac{h^2(R^2+3Rr+r^2)}{10(R^2+Rr+r^2)}+\frac{3(R^5-r^5)}{20(R^3-r^3)}}$
		$\frac{3M}{10}\left(\frac{R^5-r^5}{R^3-r^3}\right)$	$0{,}5477\sqrt{\frac{R^5-r^5}{R^3-r^3}}$
Шар		$\frac{2Mr^2}{5}$	$0{,}6325r$
		$M\left(a^2+\frac{2r^2}{5}\right)$	$\sqrt{a^2+0{,}4r^2}$
		$M\frac{2(R^5-r^5)}{5(R^3-r^3)}$	$0{,}6325\sqrt{\frac{R^5-r^5}{R^3-r^3}}$

Род тела	Эскиз	Момент инерции I_X	Радиус инерции ϱ_X
Шаровой сектор		$\frac{M}{5}(3rh-h^2)$	$0{,}4472\sqrt{3rh-h^2}$
Шаровой сегмент		$M\left(r^2-\frac{3rh}{4}+\frac{3h^2}{20}\right)\frac{2h}{3r-h}$	$0{,}3162\sqrt{\left(\frac{h}{3r-h}\right)(20r^2-15rh+3h^2)}$
Трехосный эллипсоид		$\frac{M}{5}\left(a^2+b^2\right)$	$0{,}4472\sqrt{a^2+b^2}$
Параболоид вращения		$\frac{Mr^2}{3}$	$0{,}5773\,r$
		$\frac{M}{6}\left(r^2+\frac{h^2}{3}\right)$	$0{,}7071\sqrt{3r^2+h^2}$
Кольцевая тора		$M\left(R^2+\frac{3r^2}{4}\right)$	$0{,}5\sqrt{4R^2+3r^2}$
		$M\left(\frac{R^2}{2}+\frac{5r^2}{8}\right)$	$0{,}7071\sqrt{R^2+1{,}25r^2}$

называются центральными моментами I_{XC}, I_{YC} и I_{OC}. М. инерции I_U относительно осей EU и EV, параллельных осям CX и CY и находящихся от них на расстояниях a и b:

$$I_U = I_{XC} + \omega b^2; \quad I_V = I_{YC} + \omega a^2. \qquad (6)$$

Полярный М. инерции относительно точки E:

$$I_E = I_{OC} + \omega l^2, \qquad (7)$$

где I_{OC}—полярный М. инерции относительно ц. т. C. Из (6) и (7) видно, что М. инерции относительно ц. т. являются наименьшими. Центробежный момент I_{UV} относительно новых осей EV и EU, параллельных прежним CY и CX на расстояниях a и b:

$$I_{UV} = I_{XY} + \omega ab. \qquad (8)$$

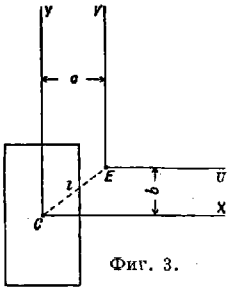
М. инерции относительно оси OA, составляющей угол α с осью OX:

$$I_\alpha = I_X \cos^2\alpha + I_Y \sin^2\alpha - I_{XY} \sin 2\alpha. \qquad (9)$$

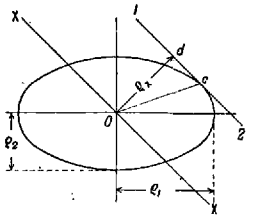
Если выберем угол α так, чтобы

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2I_{XY}}{I_Y - I_X}, \qquad (10)$$

то получим два взаимно перпендикулярных направления OA и OB, для к-рых центробежный М. инерции $I_{AB}=0$, а М. инерции достигают наибольшего и наименьшего значений I_1 и I_2. Эти оси называются главными осями, а I_1 и I_2—главными М. инерции.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \tfrac{1}{2}(I_X + I_Y) + \tfrac{1}{2}\sqrt{(I_X - I_Y)^2 + 4I^2_{XY}} \\ I_2 &= \tfrac{1}{2}(I_X + I_Y) - \tfrac{1}{2}\sqrt{(I_X - I_Y)^2 + 4I^2_{XY}} \end{aligned}\right\} \cdot \qquad (11)$$

Для любых осей

$$I_\alpha = I_1 \cos^2\alpha + I_2 \sin^2\alpha. \qquad (12)$$

Главные оси, проходящие через ц. т. C, называются главными центральными осями инерции, а моменты относительно них—главными центральными М. инерции. При наличии в контуре фигуры оси симметрии последняя является одной из главных осей. Длина $\varrho = \sqrt{\frac{I_\alpha}{\omega}}$ называется радиусом инерции площади ω относительно оси $O\alpha$. Если по направлению луча $O\alpha$ откладывать отрезки, обратно пропорциональные длине соответственного ϱ, то концы этих отрезков при вращении $O\alpha$ около точки O расположатся по так наз. эллипсу инерции, ур-ие к-рого

$$I_1\xi^2 + I_2\eta^2 = \text{Const};$$

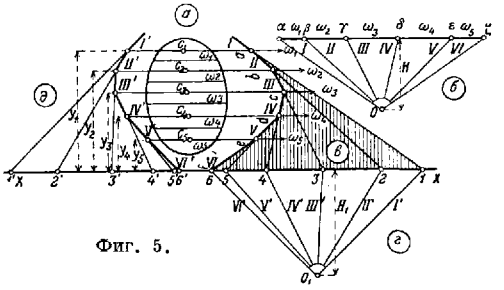
его оси совпадают с главными осями инерции плоской фигуры. Эллипс инерции дает наглядную картину изменений М. инерции при повороте осей около точки O. Если отложить на главных осях отрезки ϱ_1 и ϱ_2 по направлению, перпендикулярному к оси (фиг. 4), и на этих отрезках построить эллипс, то он будет подобен первому эллипсу и называется вторым эллипсом инерции (Кульмана). По этому эллипсу инерции М. инерции относительно любой оси определяется выражением вида

$$I_X = \omega\varrho_X^2 = \omega\overline{od}^2,$$

где od—расстояние от ц. т. эллипса до касательной, проведенной параллельно оси OX. Центробежный М. инерции определяется произведением $I_{XY} = \omega\,\overline{od}\,\overline{oc}$. М. инерции для правильных фигур и для фигур, составленных из правильных, вычисляется по ф-лам (1)—(5). Для неправильных фигур применяется следующий вычислительный прием: площадь данной фигуры разделяют рядом прямых, параллельных оси OX, на полоски настолько узкие, чтобы их можно было рассматривать как прямоугольники. Определяют по чертежу площадь каждой полоски ω_1, ω_2, ... и расстояние y ее ц. т. от оси OX. Тогда приближенно

$$I_X = \sum\left(\omega y^2 + \frac{\omega h^2}{12}\right). \qquad (13)$$

Вторым членом при малой ширине полоски h можно пренебрегать. При графич. определении М. инерции фигуры (фиг. 5, а) величины ω_1, ω_2, ... изображают в виде векторов, приложенных в ц. т. каждой полоски, строят для них силовой мн-к (фиг. 5, б) с полюсным расстоянием H и по нему веревочный мн-к (фиг. 5, в), продолжая стороны его до пересечения с осью X-ов; приняв затем полученные на оси X-ов отрезки за силы, приложенные в ц. т. указанных полосок, строят для них второй силовой мн-к (фиг. 5, г) с полюсным расстоянием H_1 и по нему строят второй веревочный мн-к (фиг. 5, д), продолжая стороны его до пересечения с осью X-ов.



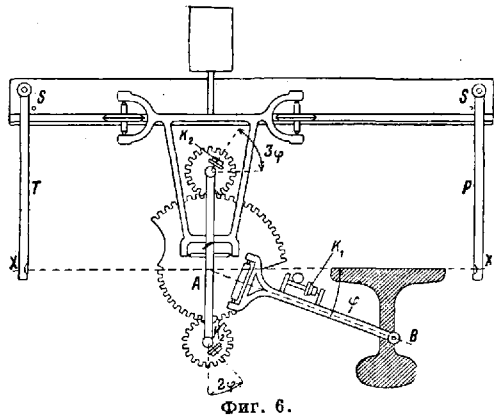
Фиг. 5.

По этим построениям момент инерции I_X определяется приближенно следующими выражениями:

$$I_X = \overline{1'6'} \cdot H \cdot H' = 2\omega_c \cdot H, \qquad (14)$$

в к-рых: $1'6'$—отрезок, отсекаемый крайними сторонами второго веревочного мн-ка на оси X-ов; ω_c—площадь, ограничиваемая крайними сторонами первого веревочного мн-ка и осью X-ов. Можно также для вычисления М. инерции пользоваться интеграторами. На фиг. 6 показана схема интегратора Амслера. При определении М. инерции фигуры относительно оси XX устанавливают прибор так, чтобы линейка SS была параллельна оси XX; для этого служат две линейки P и T равной длины, снабженные

на одном конце поперечиной, входящей в паз линейки SS, а на другом—острием, которое устанавливают на ось XX. При обводе штифтом, насаженным на конце B стержня AB длиною, равною a, контура фигуры (напр. рельса) каточек K_1 совершает нек-рый путь качения $u_1 = \int \sin\varphi \cdot dx$. Каточки K_2 и K_3 в то же время совершают качения u_2 и u_3, величины которых согласно устройству прибора будут:



Фиг. 6.

$$u_2 = \int \sin(90° - 2\varphi)\, dx$$

и

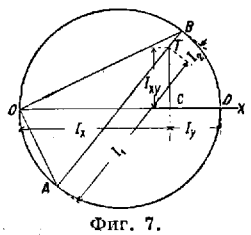
$$u_3 = \int \sin 3\varphi\, dx.$$

Зная число оборотов каточков K_1, K_2 и K_3 и радиусы их, можно вычислить величины u_1, u_2 и u_3; это вычисление заменяется делениями, наносимыми на каточках в соответствующих масштабах в зависимости от конструкции прибора. Величина М. инерции определяется выражением:

$$I_X = \tfrac{1}{4}a^3u_1 - \tfrac{1}{12}a^3u_3 = \tfrac{1}{2}\pi\varrho_1 a^3 \cdot n_1 - \tfrac{1}{6}\pi\varrho_3 a^3 \cdot n_3, \quad (15)$$

где n_1 и n_3—число оборотов каточков K_1 и K_3, ϱ_1 и ϱ_3 — их радиусы, a — постоянная.

Если известны I_X, I_Y и I_{XY}, то направление главных осей и главные М. инерции вычисляются по (10) и (11). Графически они м. б. найдены построением круга инерции Мора (фиг. 7). На прямой OX откладываем отрезки $OC = I_X$ и $CD = I_Y$, откладываем $CT = I_{XY}$ перпендикулярно к OD в положительную или в отрицательную сторону в зависимости от знака I_{XY}. Точка T называется главной точкой инерции. Строим на OD как на диаметре круг. Проводим через T диаметр ATB. Линии OA и OB дают направление главных осей, а отрезки $AT = I_{max}$ и $BT = I_{min}$—величины главных моментов инерции. М. инерции для различных плоских фигур даны в табл. 1.



Фиг. 7.

М. инерции масс. В ур-ниях и законах динамики, относящихся к вращению тел, вместо массы тела входит М. инерции его массы. М. инерции материальной точки относительно оси OA называется произведение из массы точки m на квадрат расстояния ее от оси OA:

$$I = mr^2. \quad (16)$$

М. инерции системы точек называется сумма произведений из массы каждой точки на квадрат ее расстояния от оси

$$I = \sum mr^2. \quad (17)$$

М. инерции относительно системы трех взаимно перпендикулярных осей $OXYZ$:

$$I_X = \sum m(y^2 + z^2), \quad I_Y = \sum m(x^2 + z^2),$$
$$I_Z = \sum m(x^2 + y^2). \quad (18)$$

Центробежными М. инерции, или произведениями инерции относительно координатных плоскостей, называются суммы

$$I_{XY} = \sum mxy, \quad I_{XZ} = \sum mxz, \quad I_{YZ} = \sum myz. \quad (19)$$

Если массы сплошь заполняют данный объем, то суммирование заменяется интегрированием по объему:

$$I = \int r^2\, dm = \tfrac{1}{g}\int qr^2\, dV, \quad (20)$$

где q—объемный вес в данной точке, dV—элемент объема. То же относится к центробежным моментам. М. инерции удобно представлять в виде $I = M\varrho^2$, где M—масса всего тела, ϱ—радиус инерции. М. инерции имеют измерение: масса·[длина]^2; их величина зависит от размеров и формы тела, а также от положения оси, относительно к-рой берут М. инерции. Зависимость между М. инерции масс относительно параллельных осей та же самая, что и для М. инерции площадей, только в соответствующие формулы (6)—(8) вместо ω надо подставить m. М. инерции для оси OA, образующей с осями координат углы α, β, γ:

$$I_A = I_X\cos^2\alpha + I_Y\cos^2\beta + I_Z\cos^2\gamma - 2I_{XY}\cos\alpha\cos\beta - 2I_{YZ}\cos\beta\cos\gamma - 2I_{XZ}\cos\alpha\cos\gamma. \quad (21)$$

Для каждой точки тела существуют 3 взаимно перпендикулярных оси, для к-рых центробежные моменты $I_{XY} = I_{XZ} = I_{YZ} = 0$. Эти 3 оси называются главными осями, М. инерции относительно их—главными М. инерции; их обозначим через A, B, C. Если тело имеет плоскость симметрии, то каждая прямая, перпендикулярная к ней, является главной осью. Если тело имеет ось симметрии, то эта ось является одной из главных осей инерции. Если по оси OA отложить от начала координат отрезок, пропорциональный $\frac{1}{\sqrt{I_A}}$, то концы его будут лежать на поверхности эллипсоида инерции

$$A\xi^2 + B\eta^2 + C\zeta^2 = 1; \quad (22)$$

оси его совпадают с главными осями инерции. Приводим в табл. 2 главные центральные М. инерции для различных однородных тел с массой M.

Существует ряд способов для определения I на опыте. Например подвешивают тело и заставляют его совершать под действием силы веса малые колебания; пусть период этих колебаний l_0; затем прикрепляют к нему другое тело, центр тяжести которого со-

впадает с осью вращения, с известным М. инерции I_0; снова определяют период колебаний t_1. Можно показать, что

$$I = I_0 \frac{t_0^2}{t_1^2 - t_0^2}.$$

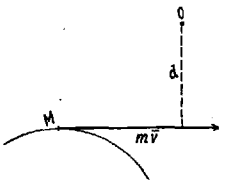
М. инерции элемента объема относительно оси OA называется произведение объема этого элемента dV на квадрат его расстояния от оси OA, т. е. $r^2 dV$. М. инерции объема какого-либо геометрич. тела относительно оси OA называется предел суммы произведений из элементарных объемов этого тела на квадрат расстояния их от оси:

$$I = \lim \sum r^2 dV = \int r^2 dV,$$

где интегрирование распространено по всему объему тела. Подробности см. выше—М. инерции масс.

Лит.: Handb. d. physik. u. techn. Mechanik, hrsg. v. F. Auerbach u. W. Hort, B. 1, p. 350—404, Lpz., 1928; Hütte, Справочная книга для инженеров, 12 изд., т. 1, стр. 244—250, М., 1929. **А. Динник.**

М. количества движения материальной точки M с массой m и со скоростью v относительно точки O есть вектор, численное значение которого равно mvd, где d—расстояние точки O до касательной к траектории движения материальной точки (фиг. 8); направление вектора момента $\boldsymbol{K}$ устанавливается перпендикуляром к плоскости, содержащей точку O и касательную к траектории; при этом (см. *Векторное исчисление*)



Фиг. 8.

$$\boldsymbol{K} = [\boldsymbol{r} m \boldsymbol{v}],$$

где $\boldsymbol{r}$—радиус-вектор точки M относительно точки O, принятой за начало координат. Проекциями момента $\boldsymbol{K}$ на оси координат будут:

$$K_x = m\left(y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt}\right);\quad K_y = m\left(z\frac{dx}{dt} - x\frac{dz}{dt}\right);$$

$$K_z = m\left(x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt}\right).$$

Так как

$$\boldsymbol{K} = 2m \cdot \frac{[\boldsymbol{rv}]}{2},$$

а $\frac{[\boldsymbol{rv}]}{2}$ является секториальной скоростью, то

$$\boldsymbol{K} = 2m\dot{\boldsymbol{S}},$$

т. е. момент количества движения точки равен удвоенному произведению массы точки на ее секториальную скорость относительно начала координат и по направлению совпадает с направлением секториальной скорости.

М. количества движения системы материальных точек относительно точки O называется геометрич. сумма моментов отдельных материальных точек, составляющих систему. Проекциями момента $\boldsymbol{K}$ в этом случае будут:

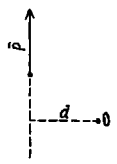
$$K_x = \sum m\left(y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt}\right);$$

$$K_y = \sum m\left(z\frac{dx}{dt} - x\frac{dz}{dt}\right);$$

$$K_z = \sum m\left(x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt}\right).$$

См. *Механика теоретическая.*

М. силы $\boldsymbol{P}$ относительно полюса O (фиг. 9) есть вектор $\boldsymbol{M}$, численное значение которого равно $P \cdot d$, где d — расстояние полюса до данной силы; положение вектора М. устанавливается перпендикуляром к плоскости, содержащей данный вектор $\boldsymbol{P}$ и полюс O, причем направление вектора М. определяется правилом штопора; в интерпретации векторного исчисления момент представится следующим образом:



Фиг. 9.

$$\boldsymbol{M} = [\boldsymbol{rP}],$$

где $\boldsymbol{r}$ есть радиус-вектор начальной точки данной силы $\boldsymbol{P}$ относительно точки O.

Обозначив декартовы координаты начала вектора $\boldsymbol{P}$ через x, y, z, проекции силы $\boldsymbol{P}$ на координатные оси—через X, Y, Z и координаты полюса O через a, b, c, будем иметь для составляющих М. следующие выражения:

$$M_x = Z(y-b) - Y(z-c),$$
$$M_y = X(z-c) - Z(x-a),$$
$$M_z = Y(x-a) - X(y-b).$$

Аналитическое выражение для момента $\boldsymbol{M}$ будет:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}.$$

Если полюс O принять за начало координат, то в предыдущих формулах надо положить $a = b = c = 0$; тогда

$$M_x = Zy - Yz,$$
$$M_y = Xz - Zx,$$
$$M_z = Yx - Xy,$$

$$M = \sqrt{(Zy - Yz)^2 + (Xz - Zx)^2 + (Yx - Xy)^2}.$$

М. силы относительно точки называется также статич. М. силы, или М. вращения относительно той же точки.

Аналитич. выражение для момента $\boldsymbol{M}$ относительно оси l, проходящей через точку O с координатами a, b, c и образующей с осями координат углы α, β, γ, будет:

$$M = \left\{Z(y-b) - Y(z-c)\right\}\cos\alpha + \left\{X(z-c) - Z(x-a)\right\}\cos\beta + \left\{Y(x-a) - X(y-b)\right\}\cos\gamma.$$

Если O—начало координат, т. е. $a = b = c = 0$, то

$$M = (Zy - Yz)\cos\alpha + (Xz - Zx)\cos\beta + (Yx - Xy)\cos\gamma.$$

М. силы относительно оси l называется также статическим М., или М. вращения относительно этой оси.

Лит.: Жуковский Н. Е., Теоретич. механика, ч. 1, 2, М., 1927; Суслов Г. К., Основы аналитич. механики, т. 1, ч. 1—2, Киев, 1911, т. 1, ч. 3, Киев, 1912; Бобылев Д., Курс аналитич. механики, 2 изд., ч. 1—2, СПБ. 1885—89; Appel P., Traité de Mécanique rationnelle, 3 éd., t. 1—4, P., 1920—24; см. также *Механика теоретическая.* **Д. Коляновский.**

МОМЕНТ ИНЕРЦИИ, см. *Момент.*

МОМЕНТ КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ, см. *Момент.*

МОНАЦИТ, минерал, является главным источником получения тория (Th) и редких земель и представляет собою фосфат редких земель Ce, La и Di $[(Ce, La, Di)\cdot PO_4]$. На М. падает 99% добываемой ThO_2. Твердость М. 5—5,5; удельный вес его 4,9—5,3; цвет М. красновато-коричневый, желтый и коричневато-серый; черта—белая; блеск смоляной.

Растворяется в 3- или 4-кратном количестве конц. серной к-ты. Обычно месторождения М. встречаются в песке, на отлогих берегах, на дне рек в виде мелких тяжелых золотисто-желтых или красновато-коричневых зернышек. Особенно много монацитового песка встречается на берегах морей. В коренных месторождениях (гнейсах, гранитах, пегматитах) концентрация М. очень незначительна и промышленного значения не имеет. Главными местами добычи М. являются Индия, Бразилия и о-в Цейлон. Менее богатые месторождения встречаются на Малайском полуо-ве, в Норвегии, Австралии, Ю. Африке. Монацитовый песок на Траванкаре при обработке в электрических печах дает на 1 *г* монацитового песка 0,93 *см*³ чистого гелия. В СССР наиболее значительным источником М. являются монацитовые россыпи Борщовочного кряжа в Забайкалье, тянущиеся по низовьям р. Унды и по течению рр. Кулинды, Семеновой, Загдачея, Правой Пешковой, Б. Кибиревой и др. Общая площадь монацитовых россыпей этого месторождения исчислена К. К. Матвеевым в 1 000 *км*². Запасы им же определены приблизительно в несколько десятков тысяч *т*, но концентрация незначительная. На Урале находится месторождение М. в золотоносных россыпях р. Санарки (Оренбургский район), затем в Ильменских горах и на Среднем Урале по р. Адую. Но оба последних месторождения недостаточно разведаны.

М. служит источником добычи редких металлов тория и церия. Промышленное значение имеют монацитовые пески, аналогичные по форме золотоносным пескам. Содержание монацитовых зерен от 1—2% уже делает песок промышленной рудой, т. к. М. обладает высоким уд. весом и легко обогащается простым промыванием в промывных ящиках (вашгерды), качающихся столах и т. п. Дальнейшее обогащение производится магнитом для отборки железосодержащих зерен. Обогащенный до 60—80% песок поступает в продажу для переработки на соли тория и церия. Выделение тория из М. производится конц. серной кислотой. Наиболее важным применением тория является изготовление сеток для газо- и керосинокалильного освещения (см. *Торий*). М. кроме тория содержит еще один весьма ценный элемент—радиоактивный мезоторий и радиоторий (продукт распада мезотория), к-рый употребляется в медицине наравне с радием. Ценность мезотория настолько велика, что добыча его в виде побочного продукта имеет промышленное значение. Препарат мезотория в 1920 г. стоил 6—8 фн. ст. за 1 *мг*. Цена эта удержалась и до сих пор. Цена М. зависит от содержания в нем окиси тория. Одна *т* М., содержащего 8% окиси тория, стоила 240 долл. Мировая потребность в М. равна 3 000 *т*. Новых технич. применений металлов группы церия, также добываемого из монацитовых песков, пока не имеется.

Лит.: Буштедт В., Коренное месторождение монацитов на Алтае, «ГИ», 1925, *1*; Вернадский В., О необходимости исследования радиоактивных минералов Российской империи, «Труды радиевой экспедиции Академии наук», П., 1914, *1*; Критский В., О монацитовых россыпях р. Санарки, там же, СПБ, 1916, *5*; Кузнецов С. Д., К минералогии Забайкалья, VI. Монацит, «Известия Академии наук», СПБ, 1912, стр. 364—365; Матвеев К. К., Борщовочные месторождения монацита, «Материалы для изучения естеств. производит. сил СССР», 1926, *58*; Сырокомский В. С., Применение редких элементов в промышленности, П., 1919; Федоровский Н. М., Минералы в промышленности и сел. х-ве, 2 изд., Л., 1926; Ферсман А. Е., Пегматитовые жилы Адуя, «Труды радиевой экспедиции Академии наук», 1914, *2*; Фокин Л., Обзор химич. промышленности в России, ч. 1, вып. 1, П., 1921; Уцковский В. А., Редкие земли и торий, «НИ», т. 2; «Цветные металлы», М., 1930, *5*, стр. 751; Carney R. J. a. Campbell E. D., A New Method for the Determination of Thorium in Monazite Sand, «Journ. of the American Chemical Society», Washington, 1914, v. 36; Johnston J. S., Monazite, «J. Ch.», 1918, vol. 37, p. 373—376.

Н. Федоровский.

МОНЕЛЬ-МЕТАЛЛ, сплав серебристого цвета, содержащий примерно ок. 67% никеля, 28% меди и 5% других составных частей (см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 96, Список сплавов №№ 781, 908, 909, 899); отличается высокими антикоррозионными и механическими свойствами, жароупорностью и значительным электросопротивлением; главное применение находит в машиностроении и в оборудовании общей химич. и пищевой промышленности. М.-м. выпускает на рынок фирма «Международная никелевая К⁰» с 1925 г. М.-м. почти тождествен со сплавом люцеро (см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 112). В хим. составе М.-м. характерно присутствие марганца и железа, причем в некоторых специальных марках присутствует свинец (до 2,22%); кроме того в М.-м. содержатся углерод, кремний и сера, тогда как олово, цинк и сурьма отсутствуют. В количественном отношении состав М.-м. характеризуется данными, меняющимися в пределах (в %): от 68,87 до 60,05 Ni; от 29,03 до 32,46 Cu; от 1,60 до 2,40 Fe (хотя в отдельных случаях содержание доходит до 3,75 и даже до 6,5%); от 0,5 до 2,10 Mn; от 0,13 до 0,18 C (в отдельных случаях до 0,31); от 0,09 до 0,87 Si; от 0,027 до 0,038 S; по имеющимся данным состав люцеро характеризуется содержанием (в %): 65—67,9 Ni; 27,5—30 Cu; 0—2,1 Fe; 2,2—5 Mn. В соответствии с назначением различают по содержанию примесей (в %) следующие четыре главные марки монель-металла:

Марки М.-м.	C	Mn	Fe	Si	S
Прокатанные листы	0,11	0,15	1,76	0,18	0,021
Прокатанные стержни	0,26	1,78	2,00	0,20	0,035
Проволока	0,12	1,66	2,10	0,13	0,025
Литье	0,18	0,25	1,90	1,06	0,030

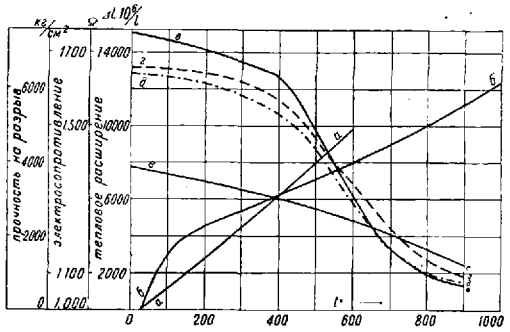
М.-м. получается непосредственно из канадских сернистых медно-никелевых руд процессом Орфорда путем окисления роштейна, а затем восстановления углем, без дорого стоящего разделения на составные части. Содержание в никеле серы обычно от 0,02 до 0,06%, а чаще 0,01—0,03%, вредно отражается на ковкости никеля и его сплавов, так что уже при 0,015% серы как холодная, так и горячая прокатка ведут к образованию трещин; напротив, присутствие O (до 0,24%), C и Si безвредно. Поэтому для обессеривания М.-м. применяется марганец (применение магния рискованно, т. к. уже 0,2% магния понижают ковкость); железо попадает в М.-м. вместе с марганцем, если последний вводится в виде ферромангана. Исходная руда д. б. свободна от кобальта.

Механические свойства. Уд. вес М.-м. 8,82. Механич. свойства его (см. *Спр.*

ТЭ, т. II, стр. 260—268) весьма повышаются от холодной протяжки. Для горячепрокатанного М.-м. пределы пропорциональности при растяжении 2 461—3 445 *кг/см²*, что соответствует примерно 80% предела текучести. При кручении или сдвиге предел пропорциональности от 1 451 до 1 905 *кг/см²*, т. е. 55—67% предела пропорциональности при растяжении. Модуль сдвига или кручения 49 000 *кг/см²*, модуль Юнга 1 847 000 *кг/см²*, коэф. Пуассона 0,33. М.-м. выдерживает около 75 000 000 перемен натяжения либо сжатия при усилии 689 *кг/см²* и около 2 000 000 перемен при усилии 3 900 *кг/см²*; зависимость максимального усилия S от числа перемен N дается соотношением:

$$S = 5\,050\,N^{-0{,}033}.$$

Тепловые свойства. Средняя теплоемкость М.-м. в промежутке от 20 до 1 300° равна 0,127. Теплопроводность равна 0,06 в единицах *CGS*, что составляет $^1/_{15}$ теплопроводности меди. При ковке наиболее выгодна $t°$ между 1 040° (цвет лососины) и 1 100° (оранжевый), причем эту последнюю не следует превышать; нагрев до 1 200° вредит качеству материала; $t°$ отжига 700—900°, причем нагрев до 1 000° не сообщает большей мягкости; $t°_{пл.}$ 1 300—1 350°. Предельная рабочая $t°$ до 500°. Кривые теплового расширения (см. фиг., кривая *а*) М.-м. разных



а а - тепловое расширение
б б - электросопротивление
в в, г г, д д - прочность на разрыв кованного монель-металла
е е - прочность на разрыв литого монель-металла

марок (с содержанием Ni от 60 до 69%) оказались весьма правильными и в промежутке 25—300° обладающими одним и тем же средним коэф-том расширения, а именно:

$t°$	25—100°	100—200°	200—300°
Ср. коэф. теплового расширения	$\sim 14 \cdot 10^{-6}$	$\sim 15 \cdot 10^{-6}$	$\sim 15{,}7 \cdot 10^{-6}$

Но выше 300° кривые у разных образцов расходятся, напр. у двух образцов в промежутке между 500—600° разность коэф-тов расширения $2{,}3 \cdot 10^{-6}$. Усадка при затвердевании составляет 2%. М.-м. обладает важным свойством сравнительно малого снижения своих механических качеств при нагреве, как это видно на фиг. по кривым *в*, *г* и *д*, относящимся к прочности на разрыв различных образцов горячей прокатки, и кривой *е*, характеризующей то же свойство литого М.-м. В этом отношении М.-м. значительно превосходит многие другие металлы; так напр. при 400° прочность на разрыв обыкновенной латуни или бронзы < 800 *кг/см²*, тогда как у кованого М.-м. она выше 5 600 *кг/см²*.

Электрические и магнитные свойства. Электросопротивление М.-м. при комнатной $t°$ составляет 42,5—44,5 Ω-*см*, смотря по марке и образцу, так что проводимость его около 4% проводимости меди. Темп-рный коэф. сопротивления равен 0,0019 в промежутке 20—93°, а далее внезапно понижается и составляет ок. 0,000611; на фиг. кривая *б* показывает ход электросопротивления до 1 000°. При комнатной $t°$ М.-м. ферромагнитен, а в промежутке 100—150° утрачивает это свойство (обратимо). В намагничивающем поле 100 гауссов индукция литого М.-м.—500 гауссов, а прокатанного от 10 000 до 15 000 гауссов; коэрцитивная сила 1,1; остаточное намагничение 990.

Оптические свойства. Коэф. отражения света равен 60%. Первоначальный серебристый цвет с течением времени несколько сереет.

Химические свойства. М.-м. отличается значительной химич. стойкостью, причем разъедается весьма равномерно; выдерживает действие к-т (но не азотной) и стоек против нейтральных и щелочных окислителей, тогда как кислотными окислителями разъедается. В качестве примера, характеризующего степень его стойкости, можно указать, что 9-дневное действие непрерывно возобновляемой 6—7% (6° Bé) серной кислоты при 74° дало разъедание 0,0007 *г/см²* в сутки, что соответствует удалению слоя толщиною в 0,75 *μ* за сутки, т. е. удаление слоя 2,5 *мм* за 10 лет; этот расчет подтвержден практикой.

Обрабатываемость. М.-м. хорошо подвергается механич. обработке различного рода: обточке, горячей и холодн. проковке, нарезке, фрезеровке, прекрасно полируется; тепловые условия обработки указаны выше. М.-м. допускает также тепловую обработку: отжиг, пайку крепким припоем, пайку легким припоем и сварку.

Применение. Применяют М.-м. гл. обр. в областях, где требуется сочетание механич. качеств с сопротивляемостью нагреву и химич. стойкостью. Таковы клапаны, импеллеры и все снаряжение специальных насосов, центробежных и поршневых, труб для разного рода химически активных жидкостей и для перегретого пара, баков и выпарительных чаш для разных жидкостей и т. д. Из М.-м. изготовляются различные части машин: приводы, шестерни, патрубки, мешалки, сита и вообще такое оборудование, к-рое должно служить в коррозионных условиях без специальных защитных пленок; в частности, монелевое оборудование рекомендуется напр. для установок турбогенераторов, для коксовальных, морских, газовых, красильных, сахарных, клеевых и желатиновых, мыловаренных, горнопромышленных и т. п. установок. М.-м. применяется для кухонной посуды в пищевой промышленности; применяется также и в качестве материала для столовой утвари. Фирма безусловно рекомендует применение М.-м. там, где есть действие следующих агентов: алюминия сернокислого, аммиака водного, атмосферной коррозии, бензойной, борной и винной кислот, воды пресной и соленой, водорода, гипосульфита натрия, из-

вести, едких натра и кали, кальция хлористого и сернокислого, карболовой к-ты, квасцов, кислорода, яблочной, масляной и муравьиной к-т, мыла щелочного, пикриновой к-ты (но холодной), ртути металлической, салициловой к-ты, сероуглерода, стеариновой к-ты, фосфорной к-ты (но холодной), фтористо- и хлористоводородных к-т, хлора сухого, цианистоводородной к-ты, нагрева в атмосфере временно до 700°, пара влажного и перегретого; условно рекомендуется применение в средах: уксусной, лимонной, соляной, серной и дубильной к-т, солей цинка, газообразн. продуктов горения; не рекомендуется применение М.-м., когда есть действие следующих реагентов: азотной к-ты, аммония азотнокислого в насыщенном растворе, медного купороса, пикриновой кислоты горячей, сернистой к-ты, фосфорной кислоты горячей, хлорной к-ты ($HClO_4$) и хромовой к-ты. Однако список рекомендуемых случаев применения, как показали исследования Гемлина и Тернера, м. б. значительно расширен и в частности даже за счет нерекомендуемых фирмою случаев. Отдельно м. б. отмечено применение М.-м. для кислых фиксажных ванн в фотографии и для нагревательных приборов, хотя значительность температурного коэфициента делает последнее не вполне удобным.

Лит.: Жемчужный С. Ф., Сплавы для электрических измерительных и нагревательных приборов, стр. 26—44, Л., 1928; Курнаков Н. С. и Жемчужный С. Ф., О сплавах меди с никелем и золотом, «Изв. Политехнич. ин-та», М., 1906, т. 6, стр. 5; их же, «Ж», 1907, т. 39, стр. 211; Merica P. D., Miscellaneous Alloys of Nickel, «Chem. a. Met. Eng.», 1921, v. 24, p. 649; Hunter M. A. a. Jones A., «Transactions of the Amer. Electrochem. Soc.», 1922, v. 42, p. 195; Merica P. D. a. Waltenberg R. S., «Technical Paper, U. S. Bureau of Standards», Wsh., 1925, *19*, p. 281; Merica P. D. a. Waltenberg R. S., «Revue de Métal», P., 1927, t. 24; Wilner S. H. a. Hidnert P. Termal Expansion of Nickel, Monel Metal, Bellit, Stainless Steel a. Aluminium, «Sc. Papers of the Bureau of Standards», Wsh., 1922, *426*; Merica P. D., Waltenberg R. C. a. Mc. Cabe A. S., Some Mechanical Properties of Hot-rolled Monel Metal, «Proc. of the American Society of Testing Materials», 1921, Philadelphia, v. 21; Hunter M. A., Sebast F. M. a. Troy A. J., Some Electr. Properties of Nickel a. Monel Wires, «Transactions of the Amer. Inst. of Min. a. Metallurg. Eng.», N. Y., 1922; Hamlin M. L. a. Turner F. M., The Chemical Resistance of Engineering Materials, New York, 1923; Burrows Ch. W., «Electrical World», New York, 1921, July (магнитные свойства); «Z. ang. Ch.», 1924, Jg. 24, p. 131, 470; «Chem. Zentralbl.», B., 1919, Jg. 1, p. 272; Tompson J. F., «Eng. Min. Journ.», N. Y., v. 21, p. 223; Ам. П. 947067. **П. Флоренский.**

МОНЕТНОЕ ДЕЛО, совокупность мероприятий государственной власти и работ по изготовлению звонкой монеты. В СССР вся монета изготовляется в Ленинграде, в Петропавловской крепости, на монетном дворе, находящемся в ведении НКФ СССР; основан этот монетный двор в 1724 г.

Союзная звонкая монета делится на следующие группы в зависимости от металла, из к-рого она сделана: 1) золотая—червонец—достоинством в 10 р.; 2) серебряная—т. н. банковая—достоинством в 1 р. и в 50 к. и разменная—достоинством 20, 15 и 10 к.; 3) бронзовая—5, 3, 2 и 1 к. и 4) медная—5, 3, 2, 1 и $^1/_2$ к. (в настоящее время изготовляется только $^1/_2$ к.). Монетный сплав должен удовлетворять следующим основным требованиям: 1) в холодном состоянии под давлением он должен заполнять все мельчайшие черты штемпеля, чтобы получить на монете отчетливое изображение, и 2) в то же время д. б. достаточно твердым, чтобы не подвергаться быстрому истиранию и сохранить на возможно более продолжительный срок полученный монетным кружком отпечаток рисунка со всеми деталями.

В СССР золотая и банковая серебряная монета изготовляется 900 пробы (900 вес. частей благородного металла и 100 вес. частей чистой электролитич. меди); серебряная разменная монета—500 пробы (половина чистого серебра и половина меди); бронзовая монета содержит 95% чистой меди и 5% чистого алюминия; медная монета из чистой электролитической меди. Иностранные монеты имеют крайне разнообразный состав сплава.

Изготовление звонкой монеты требует весьма точной работы, т. к. каждая монета должна строго соответствовать установленным для нее размерам, весу и пробе; содержимое одного мешка готовой к отправке монеты должно иметь вполне определенный вес. При массовом изготовлении монет все-таки нельзя достигнуть, чтобы каждый монетный кружок вполне точно имел назначенный для него вес и пробу; поэтому установлен ремедиум, т. е. допускаемое законом отклонение в известных пределах от нормального веса и пробы. Определение проб для золотых и серебряных монет должно производиться с соблюдением следующих предельных норм:

	Золото 900 пробы	Серебро 900 пробы	Серебро 500 пробы
Расхождение между парал. опробованиями	1,0 пробы	1,0 пробы	3,0 пробы
Расхождение в опробованиях между верхом и низом слитка	1,0 »	2,0 »	5,0 »
Окончательн. проба должна получиться с точностью	0,5 »	1,0 »	1,0 »

Если расхождение между полученными пробами после повторного опробования окажется более установленной нормы, то слитки переплавляют. Сплав же бронзовой монеты должен удовлетворять требованиям, чтобы содержание меди в нем колебалось в пределах 94,0÷95,5%, а алюминия 4,25÷5,5%. В табл. 1 указаны размеры и вес для каждой монеты и тот весовой ремедиум, которым сопровождается изготовление этой монеты.

При изготовлении монет законом предусмотрены жесткие определенные нормы потерь (угара) металлов. Для золотой монеты нормы потерь на каждые 1 000 кружков составляют: при изготовлении в год 1 млн. кружков—12.5 *г* чистого золота, до 2 млн. кружков — 12 *г*, более 2 млн. кружков — 11,5 *г*. Для серебряной монеты норма потерь на каждую 1 000 кружков составляет: для монет достоинством в 1 р.—45 *г* чистого серебра, для полтинников—30 *г*, для монет в 20 к.—8 *г*, в 15 к.—6 *г*, в 10 к.—5 *г*. Для расхода электролитич. меди при добавке ее в сплавки золота и серебра установлены на кажд. 1 000 монетных кружков след. нормы потерь: для золотой монеты—6 *г*, для серебряной монеты: в 1 р.—50 *г*, в 50 к.—25 *г*,

Табл. 1.—Размеры, вес и весовой ремедиум звонких монет.

Достоинство монеты	Диаметр, *мм*	Толщина, *мм*	Вес 1 кружка, *г*	Весовой ремедиум, *г*	Содержимое мешка		Ремедиум веса содержимого 1 мешка, *г*
					по весу, *г*	по сумме, р.	
Золотой							
10 р.	22,606	1,23	8,6026	± 0,017	8 602,6044	10 000	± 6,4
Серебряной							
1 р.	33,528	2,00	20,0	± 0,062	19 995,723	1 000	± 30,0
50 к.	26,670	1,65	10,0	± 0,053	19 995,723	1 000	± 30,0
20 к.	21,844	0,90	3,6	± 0,133	17 996,150	1 000	± 27,0
15 к.	19,558	0,80	2,7	± 0,110	17 996,150	1 000	± 27,0
10 к.	17,272	0,65	1,8	± 0,089	17 996,150	1 000	± 27,0
Медной							
5 к.	32,004	2,27	16,3805	± 0,1338	Допуски на 1 мешок медной монеты не ограничивались		
3 к.	27,686	1,82	9,8283	± 0,1109			
2 к.	23,876	1,62	6,5522	± 0,0889			
1 к.	21,336	1,00	3,2761	± 0,0666			
½ к.	16,002	0,75	1,63805	± 0,0555			
Бронзовой							
5 к.	25	1,22	5	± 0,110	15 000	150	± 450
3 к.	22	0,95	3	± 0,090			
2 к.	18	0,94	2	± 0,070			
1 к.	15	0,67	1	± 0,060			

в 20 к.—34 *г*, в 15 к.—25 *г* и в 10 к.—17 *г*. Для уменьшения указанных потерь металла при производстве звонкой монеты на всех монетных дворах собирают т. наз. монетные сора, из к-рых затем извлекают драгоценный металл.

Процесс изготовления звонкой монеты в общих чертах одинаков на всех монетных дворах для всех сортов монеты. Последовательный ход изготовления серебряной монеты состоит из следующих операций.

Приготовление монетных сплавов. В СССР для этих сплавов употребляют как «сырье» только чистые металлы—золото, серебро и электролитич. медь. Подготовка к переплавке серебра и меди в целях получения серебряного монетного сплава назначенной пробы производится лигированием. Для быстрого определения добавок металла имеются готовые таблицы. После подготовки металла к переплавке он из весовой поступает в плавильную мастерскую. Плавку монетного металла ведут в печах различной конструкции в зависимости от технич. оборудования данного монетного двора: в Америке—в электрич. печах системы Нортруп, в Англии и Италии—в газовых печах, а в СССР в дровяных самодувных горнах, в нефтяных горнах с дутьем и в газовых или коксовых печах.

Плавка серебряного монетного сплава в дровяном горне производится в специальном стальном (выдерживает до 40 сплавок) или чугунном (до 25 сплавок) горшке емкостью около 900 *кг* металла. Плавильный горн футерован огнеупорным кирпичом и имеет сверху колпак для закрывания горна во время плавки металла. Горн требует капитального ремонта раз в год. Плавка продолжается при сухих дровах ок. 5 ч.; расход дров на 100 *кг* переплавленного металла ок. 0,25 $м^3$. Разливка готового расплавленного металла производится вручную при помощи покрытого мелом железного ковша на длинной ручке. Плавка серебряного монетного сплава на нефтяном горне системы Шмидта с одной форсункой производится в графитовом тигле емкостью ок. 300 *кг* металла. Горн с тиглем имеет вращение вокруг горизонтальной оси при помощи подъемного механизма, что дает возможность выливать расплавленный металл из тигля непосредственно в изложницы. Плавка продолжается ок. 2,5 ч., расход нефти на 100 *кг* расплавленного металла ок. 12 *кг*; графитовый тигель выдерживает ок. 20 сплавок. Монетный золотой сплав переплавляется в графитовых тиглях, в печах газовых или коксовых. Во время плавки металл тщательно перемешивают, чтобы получить вполне однородный сплав—золотой сплав при помощи глиняных или графитовых мешалок, а серебряный сплав посредством железных ковшей, смазанных мелом. До разливки серебряного сплава в изложницы берется «проба»; для этого зачерпнутый расплавленный металл выливают в чашку с водой через колеблющийся веник и получаемый мелкий серебряный порошок направляют в лабораторию на опробование (анализ производится мокрым путем по способу Гей-Люссака). Если контрольный анализ показывает требуемую для сплава пробу, то металл из горна разливают в изложницы; в противном случае приходится добавить недостающий до точной пробы металл и проплавить его. Проба для золотого монетного сплава определяется после разливки его в изложницы во избежание излишнего угара ценного металла в течение производства самого опробования.

Расплавленный металл разливают в станок с изложницами, к-рые перед отливкой смазывают минеральным маслом (в Англии и Италии—растительным); в станке находится 120 изложниц сечением каждая в 560—830 $мм^2$. Полученные бруски, т. н. кованины, готового монетного сплава рекомендуется не вынимать из изложниц, прежде чем они не остынут, т. к. кованины, вынутые очень горячими, быстро темнеют на воздухе; особенно важно придерживаться этого правила при разливке золотого сплава. По охлаждении на воздухе этих кованин с ребер их снимают заусенцы при помощи стан-

ка с «шарошками» и затем на специальных ножницах отрезают концы с усадочными раковинами; после этого кованины взвешивают и направляют в прокатную мастерскую. Кованина весит от 2,5 до 5,75 *кг* и имеет длину от 500 до 700 *мм*. Выход годной кованины из сплавки около 97%; среднее число человекодней на 100 *кг* металла ~0,63. Для получения гигиенич. условий работ по переплавке монетных сплавов и для уменьшения % угара драгоценного металла при переплавке в горнах на монетном дворе в Ленинграде устанавливается электрич. индукционная печь высокой частоты американского типа Нортруп; основные данные этой печи: емкость печи 0,5 *т* расплавленного металла; трехфазный ток в 220 V; мощность генератора 100 kW; продолжительность плавки монетного серебряного сплава 55—60 минут; расход энергии 450—500 kWh/*т*; угар металла не более 0,1%.

Прокатка. Прежде чем приступить к прокатке кованин данной сплавки, прокатывают только 3 пробных кованины; из каждой полученной т. о. монетной ленты прорезают по 2 кружка (по одному из середины и из конца) для контрольного анализа (3 кружка опробываются в химич. лаборатории, а 3 сохраняются как контрольные); лишь по получении подтверждения о нормальности пробы этих, т. наз. черных, кружков все кованины поступают в прокатку. С целью смягчения металла перед прокаткой кованины предварительно отжигают в течение 1 ч. во вращающейся пламенной отражательной печи при температуре в 600°. Для отжига металл загружают в железные противни и в них поступает в печь. После отжига металл, уже охлажденный на воздухе, поступает в прокатку на прокатном стане. На Лондонском монетном дворе отжиг монетных лент производится в газовой одномуфельной печи; для отжига ленты кладут на бесконечную цепь; пройдя на ней через водяной затвор (бак с водой), ленты поступают в муфель, где отжигаются в течение 1 ч. при *t*° ок. 600°; выход лент из муфеля производится также через водяной затвор, где они и охлаждаются перед поступлением в прокатку; вся операция по отжигу одной партии монетных лент требует ок. 3 ч.

Прокатный стан имеет 2 пары уравновешенных грузами рабочих валков с наружным диам. 300 *мм* при длине рабочей поверхности 305 *мм*; валки делают 42 об/м. Нажим валков производится клиновыми ползунами, соединяющимися винтовой резьбой с червячными колесами; при такой системе нажима возможно получить заданную толщину прокатанного металла с наибольшей точностью. Стан приводится в движение электродвигателем трехфазного тока в 102 HP. Электродвигатель соединен непосредственно с прокатным станом при помощи зубчатого привода с маховиком; для первых операций прокатки употребляются чугунные валки с закаленной поверхностью, а для последующих операций—стальные валки.

Схема прокатки кованины, т. е. серебряного бруска 41 (42) × 20 × 500 *мм* для получения монетной ленты сечением 50 × 0,97 *мм* для 20-к. монет представлена в табл. 2, причем указан также периодический отжиг

Табл. 2.—Схема прокатки серебряной кованины.

Наименование операций	Уширение лент, *мм*	Время в мин. на пр-во самих операций и на вспом. работы	
Предварительный отжиг кованин (1 сплавка) 240 шт. = =900 *кг*			75
I. Прокатка (120 шт.) с 20 на 15 *мм*	С 42 до 45	11,5	
» 15 » 12 »	» 45 » 46,5	8,0	
» 12 » 10 »	» 46,5 » 46,7	8,5	
» 10 » 7,6»	» 46,7 » 47	9,5	
		37,5	
Вся сплавка			75
Второй отжиг 60 шт.		15	
Вся сплавка			60
II. Прокатка (60 шт.) с 7,60 на 6,10 *мм*	С 47 до 48	6,0	
» 6,10 » 4,80 »	» 48 » 48,5	6,0	
» 4,80 » 3,75 »	» 48,5 » 48,7	6,5	
» 3,75 » 3,05 »	» 48,7 » 49	7,0	
		25,5	
Вся сплавка			102
Третий отжиг 60 шт.		15,0	
Вся сплавка			60
Разрезка на 2 части	С 49 до 49,3		24
	» 49,3 » 49,5		
III. Прокатка (60 шт.) с 3,05 на 2,40 *мм*		9,0	
» 2,40 » 1,80 »		9,5	
		18,5	
Вся сплавка			74
Четвертый отжиг 60 шт.		15,0	
Вся сплавка			60
Разрезка на 2 части	С 49,5 до 50		28
IV. Прокатка (60 шт.) с 1,80 на 1,45 *мм*		12,0	
с 1,45 на 1,10 и 0,97 *мм*		29,0	
		41,0	
Вся сплавка			164
Всего			722

металла. Для 20-к. монет изготовляют и более широкие ленты (90 *мм*) прокаткой кованины размером 83(85) × 20 × 700 *мм*. При последней прокатке толщина лент проверяется микрометром. Для 15-к. монет кованины размером 33 (34) × 18 × 500 *мм* прокатываются на ленту сечением 45 × 0,92 *мм*, или же кованины 75 (77) × 20 × 700 *мм* на 82 × 0,92 *мм*; для 10-к. монет—29 (30) × 20 × 500 *мм* на ленту сечением в 43 × 0,77 *мм* или же

83 (85) × 20 × 700 *мм* на 90 × 0,77 *мм*. Ленты для бронзовых монет изготовляют следующих размеров:

Для 1 к.—	шириной	142,5	*мм*	и толщиной	0,57	*мм*
» 2 »	»	39,5	»	»	0,94	»
» 3 »	»	48,5	»	»	0,95	»
» 5 »	»	53,5	»	»	1,22	»

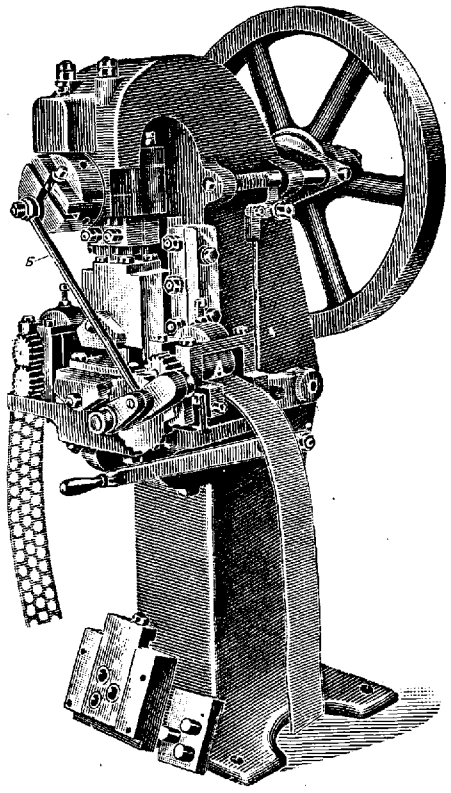
Медную ленту для $^1/_2$-коп. монет делают шириной 142,5 и толщиной 0,88 *мм*. Средняя производительность пары валков в 1 смену (7 ч.) равняется ок. 700 *кг* монетных серебряных лент. Различная ширина монетных лент устанавливается в зависимости от конструкции прорезного станка, на котором прорубаются монетные кружки; для прорезных станков с ручной подачей изготовляют узкие монетные ленты, для автоматических—более широкие. Длина узких лент до 8 *м*; широкие ленты выполняют максимальной длины и сворачивают их в рулоны. Ленты после прокатки могут иметь отклонения от установленной ширины не более ± 0,5 *мм*. Отклонения в толщине прокатных лент проверяются по весу вырубленных нормальным пестиком монетных кружков, причем установлены следующие нормы подобных отклонений для каждого серебряного и бронзового кружка в *г*:

Для 10 к.	± 0,1333	Для 1 к.	± 0,06
» 15 »	± 0,1555	» 2 »	± 0,07
» 20 »	± 0,1777	» 3 »	± 0,09
» 50 »	± 0,0553	» 5 »	± 0,11
» 1 р.	± 0,0622		

Прорезку монетных кружков производят на прорезном станке, к-рый представляет собою обыкновенный приводный пресс с коленчатым валом малого радиуса кривошипа; поступательное движение от шатунного механизма передается движущейся в бронзовых направляющих скалке, к которой прикреплены стальные прорезные пестики, проходящие при движении вниз через соответствующие отверстия в матрице. Простые прорезные станки имеют 1—2, а автоматы 3—10 пестиков (пуансонов). Подача узких лент под пестики производится на простых станках вручную, а широких лент на станках-автоматах (фиг. 1) при помощи особого приспособления. Автоматич. подачу лент производят две пары валиков *А*, приводимых в движение от вала при помощи эксцентриковой тяги *Б* и храпового колеса. После каждого рабочего удара дается при помощи этой тяги поворот валиками, которые протягивают ленту на определенную длину; рулон ленты помещают на вращающемся барабане перед станком. Полученные после прорезки кружков обрезки сколачивают в «пакеты» и направляют на переплавку.

В Англии и Италии под прорезным станком установлен наклонно неподвижный грохот, через к-рый проваливаются мелкие обрезки и неполные кружки, тогда как нормальные кружки скользят по грохоту в ящик; таким путем происходит здесь предварительная браковка прорезанных монетных кружков; вторичная браковка производится на станке с полотном (см. ниже). На Ленинградском монетном дворе полная браковка прорезанных монетных кружков производится сразу в специальных вращающихся от трансмиссии железных цилиндрах, снабженных отверстиями с диам., равным диам. монеты (для каждого сорта монеты имеется соответствующий цилиндр); через отверстия проходят все неполные кружки и кроме того здесь кружки благодаря трению освобождаются от заусенцев.

При изготовлении золотых и серебряных банковых монет требуется особая точность; поэтому пользуются прорезными станками, снабженными пестиками различного диаметра; в зависимости от колебания веса контрольных кружков из-за незначительных отклонений в сторону уменьшения толщины лент, эти ленты направляют для прорезки на тот из станков, к-рый имеет диам. пестика, нужный для уравновешивания отступлений от нормы веса кружков, чтобы в конце концов получились кружки нормального ве-



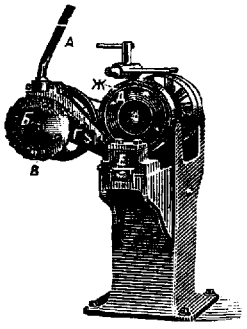
Фиг. 1.

са; так, диам. нормального пестика для 50 к. равняется 27,15 *мм*, а запасный прорезной станок имеет пестик с ⌀ в 27,35 *мм*; для 1 руб. запасный станок имеет ⌀ 34,45 *мм*, а нормальный ⌀ 34,05 *мм*. Число об/м. простых прорезных станков 400—425, а автоматов 140—165; средняя производительность в 1 смену простого станка ~ 700 *кг* и автомата ~ 1 000 *кг*; 1 рабочий обслуживает 2 автомата; количество обрезков зависит гл. обр. от ширины лент и определяется: для широких лент около 25%, а для узких—около 35%. Стальные пестики, к-рыми вырубают монетные кружки, имеют диам. несколько больший, чем диам. соответствующего сорта готовой монеты, так как прорезанные кружки должны иметь следующий незначительный запас в размерах диаметра, необходимый

для последующей операции—гурчения, т. е. утолщения металла по окружности монетного кружка (диам. монет дан в *мм*):

Достоинство монет	⌀ до гурчения	⌀ после гурчения
1 р.	33,9	33,4
50 к.	27,0	26,6
20 »	22,5	21,7
15 »	20,1	19,4
10 »	17,7	17,1

Гурчение на станке (фиг. 2) производят следующим образом: кружки загружают вручную в направляющую длинную трубку *А*, откуда они собственной тяжестью опускаются на вращающийся стальной диск *Б*, захватываются здесь зубцами *В* и, скользя по наклонному желобу *Г*, попадают в горизонтальном положении между вращающимся стальным диском *Д* и неподвижной стальной плашкой *Е*; диск *Д* имеет по окружности неглубокую канавку *Ж*, а плашка *Е* снабжена канавкой (длиной немного более длины окружности монетного кружка) в виде кривой линии, составляющей отрезок круга с радиусом, равным радиусу окружности канавки на диске *Д*; когда кружок попадает в канавку диска *Д* под прямым углом к плоскости этого диска, то вращением диска он увлекается в пространство между диском *Д* и плашкой *Е*; это пространство по ширине меньше диаметра кружка, поэтому кружок, попав в обе канавки, зажимается между диском *Д* и плашкой *Е* и быстро протаскивается вперед, вследствие чего у металла получается небольшое утолщение (о п у ш к а) по окружности монетного кружка. Станок обслуживается 1 рабочим. Число об/м. гуртильного станка от 130 до 135; средняя производительность станка в смену за 7 ч. около 600 *кг* монетных кружков. Для ускорения загрузки монетных кружков в направляющие трубки станков применяют небольшие деревянные лотки с канавками, куда при встряхивании ложатся кружки в виде стопок, готовых для вкладывания в трубку станка. Монетные кружки червонца и банкового серебра снабжаются еще гуртовой надписью с обозначением веса чистого металла в данной монете: на червонце—7,74234 *г* золота, на рубле—18 *г* и на полтиннике—9 *г* серебра; кроме того здесь помещаются инициалы лица, отвечающего за чеканку этих монет. Подобная надпись выдавливается при полном обороте монетного кружка на том же гуртильном станке; для этого в канавке плашки *Е* наносится в обратном виде полная требуемая надпись. Иногда эта надпись делается на гуртильном станке с прямолинейным движением; в этом т. н. гуртопечатном станке монетный кружок протаскивают между двумя горизонтальными плашками, каждая из к-рых имеет только половину всей требуемой надписи. Эти станки позволяют более точно получить гуртовую надпись, т. к. возможность ошибки здесь сосредоточена только на половине оборота монетного кружка, а не на полном его обороте, как в простом гуртильном станке. Иностранные монеты гуртовой надписи не имеют. После гурчения монетные кружки поступают в отбел.



Фиг. 2.

О т б е л монетных кружков требует особого внимания, т. к. этот процесс сопровождается безвозвратной потерей меди, входящей в состав монетного сплава; поэтому отбел кружков стараются вести по возможности в слабом кислотном растворе и ускоренным темпом. Процесс отбела черных монетных кружков всюду сопровождается первоначальной операцией по пожиганию самих кружков. Необходимость этого п о ж и г а вызывается следующими требованиями: а) выжечь с поверхности кружков масло и грязь, приставшие к ним во время предыдущих операций, б) смягчить металл кружка для облегчения чеканки и в) перевести в окись находящуюся на поверхности кружка медь, чтобы ускорить растворение ее в кислоте в целях облегчения отбела. Для пожига употребляются обыкновенные муфельные печи, действующие на различном топливе; на Ленинградском монетном дворе действуют нефтяные двухмуфельные печи, причем в каждый чугунный муфель загружается в небольшом железном ящике ок. 30 *кг* монетных кружков; нагрев серебряных кружков при 550 — 600° ведут в течение 10—15 мин., бронзовых—15—20 мин.; во время пожига кружки перемешивают для равномерности отжига 1—2 раза железной кочергой. На 100 *кг* монетных кружков расходуется ок. 8 *кг* нефти. После пожига кружки остывают на полу мастерской в таких же железных ящиках. Золотые монетные кружки для пожига загружают в муфельную печь закупоренными в железные цилиндры для устранения окисления кислородом воздуха лигатурной меди на поверхности кружка; при этом в цилиндр сверх монет засыпается древесный уголь, и затем он плотно закрывается железной крышкой с обмазкой глиной.

Остывшие кружки засыпают во вращающуюся медную бочку с отверстиями (в Италии деревянные бочки с отверстиями, в Англии—медные). Бочка (внутренний диаметр 450 *мм* и длина 850 *мм*) с монетой весом около 300 *кг* вращается в выложенном внутри свинцом ящике, наполненном раствором серной к-ты разной крепости и $t°$ в зависимости от монетного сплава данных кружков; для золота—2° Bé и $t°$ ок. 40°, для серебра 900 пробы 8° Bé и $t°$ ок. 40°, для серебра 500 пробы 15° Bé и $t°$ 30°, для бронзы—12° Bé и $t°$ 30° и для меди $1^1/_2$° Bé и $t°$ 15°. Золотые и серебряные кружки в кислотном растворе вращаются около 1 ч., а бронзовые—$^1/_2$ ч.; затем бочка с кружками передвигается при помощи талей в соседнее отделение ящика с проточной водой, где золотые и серебряные кружки промываются в течение $^1/_2$ ч., а бронзовые—$1^1/_2$ ч., после чего отбеленные кружки поступают в сушку. Весь процесс отбела производится под медным колпаком, который плотно закрывает вращающуюся бочку вместе с кислотным ящиком; колпак снабжен вытяжной трубой.

В Италии отбел кружков производится в растворе кремортартара (50 *г* на 1 *л* воды). Серебряные монетные кружки отбеливать рекомендуется в горячем кислотном растворе, потому что в этом случае растворение наружного слоя меди происходит быстрее; вследствие этого образующаяся на поверхности кружка плотная серебряная пленка предохраняет кружок от дальнейшего проникания кислоты внутрь кружка, чем избегается напрасная потеря металла.

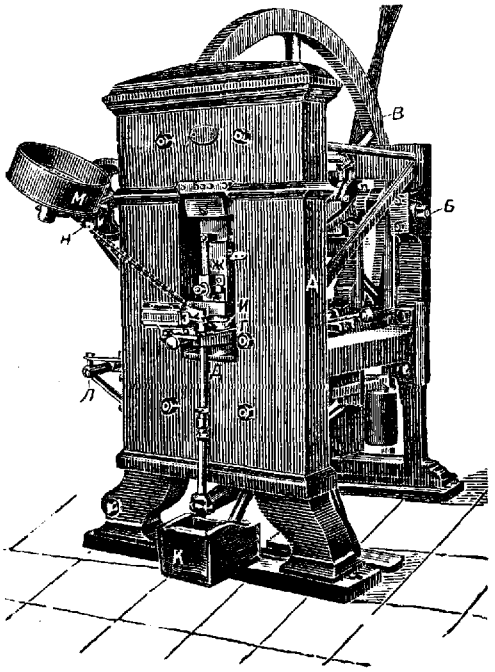
Химические процессы, протекающие при отбеле монетных кружков раствором серной кислоты, сводятся к следующим реакциям:

I. $2Cu + 2H_2SO_4 + O_2 \rightarrow 2CuSO_4 + 2H_2O$;

II. $2H_2SO_4 + Cu \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$.

Первая реакция происходит уже при обыкновенной $t°$ в присутствии кислорода воздуха; течение второй реакции обусловливается повышенной темп-рой раствора. В результате процесса отбела монетных кружков раствор обогащается медным купоросом и обедняется свободной серной кислотой. Поэтому, когда содержание медного купороса достигает такой концентрации, при к-рой нарушается процесс отбела, раствор заменяют свежим. Отработанный отбельный раствор на монетных дворах регенерации не подвергается в виду невыгодности этой операции. Серебро в раствор не переходит. На 100 *кг* монетных кружков тратится для отбела ок. 1,5 *кг* серной к-ты или ок. 2,4 *кг* бисульфата. Сушка отбельных монетных кружков в Ленинграде проводится в полой медной чаше, через к-рую пропускается свежий пар при давлении в 1,5 *atm*, причем кружки перемешиваются вручную при помощи полотняных тряпок. В Англии сушка кружков производится в железном вращающемся барабане с древесными опилками лиственных пород, а в Италии кружки сушатся на нагреваемом электрич. током большом медном подносе, покрытом полотном. Употребление древесных опилок при сушке непрактично, т. к. на отбеленных кружках остается мельчайший слой древесной пыли, к-рый при чеканке загрязняет детали штемпеля, и на монете получается не вполне отчетливый оттиск. После отбела монетные кружки поступают в чеканку.

Чеканка монетных кружков на всех монетных дворах производится на рычажных станках, главн. обр. немецкой системы Ульгорна, заимствованной в основных чертах у русского горного инженера Неведомского, который еще в 1811 году опубликовал свое изобретение. Передняя часть этого станка (фиг. 3) представляет собою массивную чугунную раму *А*, в центральном отверстии к-рой сосредоточен весь механизм для чеканки кружков; сзади этой рамы на главном валу *Б* станка находится маховое колесо *В*, благодаря к-рому станок имеет плавный ход; на вал насажен шкив, получающий вращение от общей трансмиссии; механизм для чеканки состоит из 2 стальных патронов *Г* и *Д*, в к-рые закрепляются верхний и нижний монетные штемпеля; при помощи специального соединения *Е* с кривошипом приводится в действие рычажное приспособление *Ж* для передачи верхнему штемпелю вертикального движения. Кружок автоматически захватывается из-под направляющей трубки *З* и кладется на нижний штемпель при помощи особой вилки-«снималки» *И*. Давлением верхнего штемпеля на кружке получаются отпечатки изображения с обеих сторон, из которых лицевой (аверс) называется та сторона, где расположен герб, и

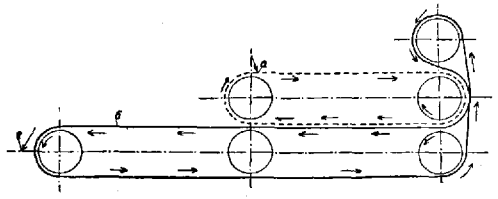


Фиг. 3.

оборотной (реверс)—где указано достоинство монеты. Во избежание расползания металла при чеканке установлено стальное печатное кольцо с внутренним диам., равным диаметру монеты; печатное кольцо делается цельным, если требуется получить на монете гурт гладкий или с рубчиками; если же необходим какой-нибудь простой рисунок или несложная надпись на гурте, то делают кольцо разборное из трех частей. Из кольца монетный кружок выталкивается нижним штемпелем, который в самый момент чеканки неподвижен, но затем получает движение вверх, когда верхний штемпель начинает двигаться обратно в верхнее положение. Как только монета выйдет из кольца, она подхватывается длинным концом той же вилки-снималки и сбрасывается по трубке в приемный ящик *К* для готовой монеты. Для пуска и остановки станка имеется с левой стороны рамы рычаг *Л*. Автомат-питатель на Ленинградском монетном дворе состоит из установленного наклонно круглого ящика *М*, дно которого вращается; дно снабжено по своей окружности открытыми к центру ячейками с диам., равными диам. соответствующего монетного кружка; кружки засыпаются в нижнюю часть ящика; при вращении дна захватываются вверх только те кружки, которые попали в ячейки; когда соответствующая ячейка достигнет верхнего положения, то монета из нее вылетает, попадает в наклонный желобок *Н* направляющей

трубки *3* и движется в ней собственным весом до самой снималки. В 1 мин. станок делает от 80 до 100 ударов и потребляет ок. 1 HP. При 7-часовом рабочем дне вырабатывают около 33 000 отчеканенной монеты; 1 рабочий обслуживает 2—3 станка. Перед засыпкой кружков в автомат-питатель или перед вкладыванием их вручную в направляющую трубку рабочие отсортировывают дефектные кружки—горбатые и бескрайные. После чеканки монетные кружки поступают в браковку и сводку.

Браковка всей отчеканенной монеты происходит на станке с движущимся полотном шириной 350 *мм* (фиг. 4). На верхнюю часть *а* рабочий постепенно высыпает монету



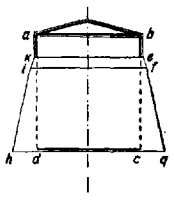
Фиг. 4.

и разравнивает ее в один слой; другой рабочий здесь отбирает дефектные кружки, наблюдая одну сторону монеты, а третий рабочий просматривает другую сторону монеты на нижней части *б* станка; хорошие монеты автоматически скатываются в ящик у *г*. Подобный станок дает больше гарантий, чем при ручной браковке, в том, что обе стороны монеты будут просмотрены. Золотые и полноценные серебряные монетные кружки до чеканки подвергаются кроме того предварительной браковке «по звону»; для этого рабочие-подростки быстро бросают каждый кружок на стальной цилиндр и удаляют кружки без звона или с глухим звоном, так как в этом случае монета имеет наружную едва заметную трещину или пленку внутри металла кружка.

Сводка. После браковки на станке монета поступает на сводку, т. е. все кружки пересчитывают, взвешивают и укупоривают; золотую и полноценную серебряную монету сначала рассортировывают при помощи автоматич. весов Непира на три группы: с нормальным весом и за пределами ремедиума—легкие и тяжелые. Раньше, когда конструкция прокатных станков не давала возможности получать монетную ленту точно требуемой толщины, производилась перед чеканкой еще браковка золотой и полноценной серебряной монеты на автоматических весах Сейса, которые рассортировывали все кружки по весу на пять групп: нормальные, в пределах ремедиума — легкие и тяжелые, слишком легкие и чрезмерно тяжелые. Легкие кружки переплавляются, а тяжелые поступают на специальный строгальный станок для снятия с них тонкой стружки и придания кружку нормального веса.

Пересчет монеты производится различными способами: а) раскладкой кружков на «разгонных» столах; в этом случае известная площадь обыкновенного стола содержит определенную сумму данной монеты (в СССР и в ряде других монетных дворов); б) на деревянных подносах с углублениями по диам. кружка; монета насыпается на поднос, который после встряски наклоняют для сбрасывания лишней монеты (Италия); в) при помощи автоматич. счетной машины (СССР, Англия и Америка). После пересчета монеты (в количестве для одного мешка) ее взвешивают и укупоривают в мешки (в Италии—в железные боченки) для отправки по назначению.

Изготовление штемпелей для чеканки монеты требует особого внимания, так как при плохом штемпеле резко уменьшается скорость чеканки монетных кружков и ухудшается качество самой монеты. Монетные штемпеля везде изготовляют на самих монетных дворах. Употребляют для штемпелей сталь с содержанием углерода 0,9—1,1% разных фирм: в СССР в настоящее время—«Добрыня № 10» завода Красный Путиловец (до революции—англ. фирмы Хентсмена и австр. фирмы Беллера), в Англии—Хентсмена с $t°$ закалки 700 — 800°, а в Италии — «Полди стабиле А (или В)» из Чехо-Словакии с $t°$ закалки 830—840° и Беллера из Австрии с $t°$ закалки 780—790°. Хорошая штемпельная сталь не должна при закалке ни садиться ни трескаться. Формы штемпелей указаны на фиг. 5 (в СССР—*abcd* и за границей—*abefghik*). Конусность нижней части монетного штемпеля необходима для закрепления его в патроне печатного станка. На Ленинградском же монетном дворе штемпель имеет форму правильного цилиндра (эта форма увеличивает его стойкость при закалке и уменьшает расходы на сталь и рабочую силу), вставляемого после этого в отдельное конусное кольцо, которое имеет продольный прорез; благодаря этому кольцу монетный штемпель зажимается гайкой патрона печатного станка; кольцо делают из стали с содержанием углерода 0,6% и закаливают при $t°$ около 700° с отпуском до темносинего цвета, что и дает пружинистость; штемпель закаливается при температуре около 800° и отпускается при светлосинем цвете.



Фиг. 5.

Процесс изготовления самих штемпелей почти везде один и тот же и состоит из следующих операций. Нарезаются куски-цилиндрики прутковой стали соответствующей длины на токарном станке; один конец цилиндрика обтачивают на конус, на котором будет выдавлено изображение одной стороны монеты, и шлифуют этот конус. На фрикционном прессе при помощи т. н. маточника (штемпель с рельефным изображением) переводят изображение на конус цилиндрика: рельефное изображение на стальном маточнике делается или вручную гравером (что требует продолжительного времени) или же, как в Ленинграде, механически при помощи копировально-резальной машины системы Жаньье, к-рая в данном масштабе вырезает быстро на стали, точно копируя изображение установленной на ней модели. Последняя операция—это обточка цилиндрика на токарном станке для придания ему формы штемпеля. Полученные т. о. «сырые» штем-

целя после просмотра их гравером и нагрева в нефтяной муфельной печи закаливают (закалка в воду, 15—18°, из к-рой штемпеля д. б. вынуты еще теплыми) и затем отпускают; нагрев для отпуска производят на нагретой докрасна железной плитке до соломенножелтого или светлосинего цвета, в зависимости от сорта стали. Закаленные штемпеля просматриваются гравером и направляются для чеканки монетных кружков. Стойкость штемпелей различна для разных сортов стали—обычно в среднем около 30 000 ударов, и максимально до 200 000.

Монетные сора. Во время производства монет накапливаются монетные сора, которые собирают как в течение всего операционного года, так и в период специальной остановки завода для учета наличия всего металла в целях определения его фактического угара. В сора поступают: наружный слой кирпича после ремонта плавильных печей, очистки от внутренней поверхности вышедших из употребления плавильных тиглей, весь предварительно пережженный мусор из мастерских, износившиеся прозодежда, туфли, рукавицы, половики, о к-рые должен вытирать подошвы сапог каждый выходящий из мастерских. Только на Ленинградском монетном дворе эти сора обрабатываются металлургически для извлечения из них драгоценных металлов; на заграничных же монетных дворах сора передаются для обработки на частные заводы. Контрольные анализы показывают, что на монетных дворах находится драгоценный металл везде; например на монетном дворе в Ленинграде грязь отстойных колодцев канализации содержит ок. 0,58% серебра и ок. 0,1% золота; грязь из колодца прачечной, куда стекает вода после мытья прозодежды, ок. 3,9% серебра и ок. 0,02% золота; пыль из вентиляционной трубы над столом, где происходит разборка старой серебряной монеты, ~15,5% серебра и ~0,03% золота; зола от партии изношенных брезентовых рукавиц ~7,98% серебра и ~0,04% золота, а кожаных туфель ~3,33% серебра и 0,09% золота. Анализ средней пробы от довольно значительной партии соров дал следующий результат в %: 26,86 SiO_2, 9,33 Al_2O_3, 23,45 Fe_3O_4, 9,37 Cu, 11,36 CaO, 1,24 MgO, 7,56 Ag, 0,01 Au, 4,14 CO_2; потеря при прокаливании ~5,6%; на Ленинградском монетном дворе эти сора делятся на две группы: богатые, с содержанием серебра >3%, и бедные, с содержанием его <3%. Богатые сора поступают непосредственно для переплавки в нефтяную вращающуюся отражательную печь «Мечта» системы инж. Зарудного, для получения «верклея»; бедные же сора после измельчения на бегунах и просеивания через соответствующие сита поступают для обогащения на стол Вильфлея, где в результате их промывки получается ок. 30% концентратов с утроенным содержанием серебра против первоначального; просушенные концентраты переплавляют в той же печи.

Полученный «верклей» подвергают трейбованию в нефтяной печи с выдвижным подом для получения бликового серебра, к-рое затем поступает для рафинирования электролизом по способу Мебиуса в слабокислотном растворе азотнокислого серебра. Серебро осаждается на катодах в виде белого неплотно пристающего к ним кристаллического порошка, который затем промывают, сушат и сплавляют в слитки. В результате получается рафинированное серебро пробы 999,8—999,9. Золото, остающееся в шламе в виде черно-бурого осадка, после окончания операции электролиза тщательно промывают, подвергают химической очистке и сплавляют в слитки. Медь, заключенная в бликовом серебре, переходит при электролизе из анода в раствор и затем восстанавливается при помощи железа в виде цементной меди; таким способом извлекают из монетных соров те металлы, которые употребляются при изготовлении монет.

Лит.: Неведомский И., Добронизский А., Европейские монетные дворы, «ГЖ», 1871, т. 4, 1873, т. 1, 1875, т. 1; Фолендорф Н., Современное состояние монетного дела в России и Зап. Европе, СПБ, 1883; Земницкий И. Н., Ленинградский монетный двор, «Предприятие», Москва, 1925, 2; «Annual Report of the Deputy Master a. Comptroller of the Royal Mint», London; «Annual Report of the Director of the Mint». Wsh.; «Relatione sui Servizi della Regia Zecca», Roma. **И. Земницкий.**

МОНОЗЫ, см. *Моносахариды.*

МОНОЛИН, строкоотливная наборная машина. См. *Набор* типографский и *Наборные машины.*

МОНОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ РЕАКЦИИ, или реакции первого порядка,—те, в которых только одно вещество претерпевает превращение, при условии, что стехиометрич. коэфициент в химич. ур-ии реакции равен единице: $A \to B + C + \ldots$ (реакция $2A \to A_2$ т. о. бимолеуклярна). Примеры М. р.: превращения неустойчивых изомеров в устойчивые (ацетохлоранилида в *n*-хлорацетоанилид, синальдоксима в антиальдоксим и др.) и некоторые разложения (карбонила никеля, нитрита аммония, азотного ангидрида, эфиров и т. п.). Если c—концентрация вещества, претерпевающего превращение, в момент времени t, то по основному постулату химической кинетики скорость превращения пропорциональна концентрации в данный момент времени, т. е. $-\frac{dc}{dt} = kc$; после интегрирования этого выражения получаем: $\ln \frac{c_0}{c} = kt$, или $c = c_0 e^{-kt}$; здесь c_0—исходная концентрация вещества (при t=0), k—коэфициент скорости реакции. Если a—количество вещества в исходный момент времени, x—количество его, претерпевшее превращение к моменту времени t, v—объем системы, то концентрация вещества в момент t равна $c = \frac{a-x}{v}$, откуда для скорости реакции имеем: $-\frac{dc}{dt} = \frac{1}{v}\frac{dx}{dt}$ и т. о. ур-ие скорости М. р. примет вид $\frac{dx}{dt} = k(a-x)$, из которого вытекает та особенность М. р., что скорость их не зависит от разведения (в ур-ии отсутствует объем v), т. е. какова бы ни была исходная концентрация вещества, определенная доля ее исчезает через один и тот же промежуток времени. После интегрирования это выражение принимает вид:

$$kt = \ln \frac{a}{a-x}, \text{ или } a - x = ae^{-kt},$$

откуда

$$x = a(1 - e^{-kt}).$$

По ур-ию М. р. текут радиоактивные превращения. Приближенно по этому же типу идут реакции, в к-рых принимают участие два или больше веществ ($A + B + C + \ldots \rightarrow A' + B' + \ldots$), но в которых количества всех реагирующих веществ кроме одного настолько велики, что изменениями их концентраций практически можно пренебречь, т. е. влияние их на скорость реакции есть постоянная величина. Пример: инверсия тростникового сахара в водном растворе: ($C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2C_6H_{12}O_6$), при которой концентрация воды м. б. практически принята за постоянную величину. М. р. в указанных примерах изолированы, но они могут также являться частями или звеньями более сложных реакций: обратимых ($A \rightleftarrows B$), параллельных ($A \overset{\rightarrow B+\ldots}{\underset{\rightarrow C+D+\ldots}{}}$), консекутивных ($A \rightleftarrows B \rightleftarrows C \rightleftarrows D \rightleftarrows \ldots$); по типу $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \ldots$ протекают радиоактивные процессы. М. р. просты только с формальной точки зрения; с теоретической—они чрезвычайно трудно поддаются объяснению, так как молекула вещества в них претерпевает превращение независимо от воздействия других молекул: в определенный промежуток времени «взрывает» определенная доля имеющихся в наличии молекул.

Применение теории активации (см. *Кинетика химическая*) показывает, что вычисленная скорость М. р. меньше действительной скорости в 10^5 раз (энергия активации в М. р.—от 20 000 до 70 000 cal на моль); очевидно, что их скорость не зависит от числа столкновений молекул. Теория Льюиса-Перрена (в современной форме не выдерживающая критики) считает М. р. результатом воздействия инфракрасной радиации. Теория Линдемана-Хиншельвуда считает, что и в М. р. столкновения молекул ведут к активации, но здесь, в отличие от бимолекулярных реакций, вслед за активацией не наступает немедленное их реагирование; между активацией и реагированием проходит нек-рый срок, в течение которого активная молекула может, столкнувшись с другой молекулой, потерять активность (дезактивация молекул); отсюда понятна независимость скорости М. р. от скорости активации и от давления (объема). Казалось бы, что скорость таких реакций д. б. меньше вычисляемой, так как дезактивация уменьшает число реагирующих молекул. Однако по типу М. р. текут превращения сложных веществ (N_2O_5, эфиры, ацетон и т. п.), а не простых (HCl, HJ и т. д.); в сложных же молекулах имеют место колебания нескольких атомов, т. е. имеется налицо много степеней свободы, что ведет к значительному увеличению числа активирующих столкновений в секунду; путем подбора числа степеней свободы можно подойти к реальным скоростям М. р. Теория Христиансена-Крамерса вводит новый источник активации (кроме столкновений молекул)—переход к молекулам теплоты реакции, выделяющейся при распаде первично активированных молекул. Все эти теории встречают целый ряд серьезных затруднений в своем развитии и ни одна из них не может быть признана окончательной. Трудности здесь так велики, что Дж. Дж. Томсон (в 1927 г.) для объяснения сущности М. р. считает возможным допустить флюктуации внутренней энергии (в отсутствии столкновений и абсорбции радиации), т. е. считает закон сохранения энергии только статистическим законом.

Лит.: Семенов Н. Н., Современное учение о скоростях газовых химических реакций, М.—Л., 1929; «Сообщения о научно-технич. работах в Республике», Л., 1930, вып. 26, Катализ; Hinshelwood C. N., The Kinetics of Chemical Change in Gaseous Systems, Oxford, 1926; Taylor H. S., A Treatise on Physical Chemistry, v. 2, p. 865—1005, L., 1924; Structure et activité chimiques, Rapports et discussions, Deuxième consell de chimie, P., 1926. **А. Раковский.**

МОНОПОЛЬ-МЫЛО, патентованный продукт типа *ализаринового масла*; получается в промышленности при энергичной обработке касторового масла серной к-той 66° Bé [1]. Продажный продукт представляет мягкую желтоватую, мылоподобную массу, к-рая содержит до 80% жирных к-т. М.-м. легко растворяется в теплой воде и имеет слабо щелочную реакцию на лакмус, но фенолфталеиновый раствор показывает кислую реакцию. Подобный же продукт получается при действии 25 *г* серной к-ты 66° Bé на 100 *г* рицинолевой кислоты при $t°$ не выше +5°. Полученный сернокислый эфир рицинолевой к-ты частично нейтрализуют едким натром с таким расчетом, чтобы часть рицинолевой к-ты осталась свободной. Эфир до нейтрализации необходимо нагреть до 100° (ок. 4 часов). После нейтрализации смесь этих двух продуктов по свойствам подобна М.-м. Существенное отличие М.-м. от ализаринового масла в том, что его кальциевые и магниевые соли растворимы в воде; поэтому М.-м. можно применять при мытье жесткой водой. Обладая хорошей смачивающей и эмульсирующей способностью, М.-м. широко применяется при крашении хлопка и искусственного шелка субстантивными красителями как добавка, способствующая лучшей эгализации красителя; кроме того М.-м. применяется в качестве кислой протравы при ситцепечатании и крашении хлопка пунцовым ализарином (вместо ализаринового масла, однако с меньшим успехом). Перед ализариновым маслом М.-м. имеет то преимущество, что товар, пропитанный им, меньше желтеет при лежке, чем при обработке ализариновым маслом, и потому получается очень чистое белое поле.

В химико-текстильной промышленности для той же цели применяется аналогичный продукт — Монополь-масло, жидкость коричневого цвета с содержанием до 95% жирных к-т, легко растворимая в воде при прибавлении едкого натра.

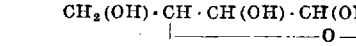
Лит.: [1]) Г. П. 113432. — Петров П., Викторов П. и Малютин Н., Химич. технология волокнистых веществ, Ив.-Вознесенск, 1928; «Изв. О-ва для содействия, улучшения и развития мануфактурной промышленности», Москва, 1909, стр. 143, 1913, стр. 422; Erban F., Die Anwendung v. Fettstoffen in d. Textilindustrie, Monographien über chemisch-technische Fabrikationsmethoden, hrsg. v. L. Wohlgemuth, B. 26, Halle a/S., 1911. **В. Абозин.**

МОНОСАХАРИДЫ, монозы, принадлежат к группе органич. веществ, объединяемых в класс *углеводов* (см.). От ди- и полисахаридов моносахариды отличаются тем, что они неспособны к гидролитическому расщеплению и, наоборот, сами образуются при гидролизе (инверсии) полисахаридов.

Природные М. содержат в своих молекулах 5 или 6 атомов углерода; к ним относятся пентозы $C_5H_{10}O_5$ (l-арабиноза, l-ксилоза, d-рибоза), метилпентозы $C_6H_{12}O_5$ (рамноза, фукоза) и гексозы $C_6H_{12}O_6$ (d-глюкоза, d-манноза, d-галактоза, d-фруктоза, d-сорбоза); синтетически получены М. и с другим числом углеродных атомов, напр. с 3 (триозы), 4 (тетрозы), 7 (гептозы) и др. По своим химич. свойствам М. имеют характер альдегидо- или кетоноспиртов; поэтому все М. подразделяют на альдозы и кетозы, соответственно положению карбонильной группы в их молекуле; различают напр. альдо- и кетогексозы, альдо- и кетопентозы и т. д. Согласно новейшим исследованиям М. не содержат фактически карбонильной группы, но имеют строение циклич. полуацеталей; так напр., глюкоза, к-рой прежде приписывалась альдегидная ф-ла

$CH_2(OH)\cdot CH(OH)\cdot CH(OH)\cdot CH(OH)\cdot CH(OH)\cdot COH$,

по современным представлениям имеет следующее строение:



Вследствие присутствия в молекуле М. нескольких асимметрич. атомов углерода они могут существовать в виде многочисленных оптич. изомеров. Для альдогексоз например возможны 32 оптически активных изомера, для альдопентоз—16 (не считая рацемич. форм) и т. д. В общем известно свыше 50 М., из к-рых 11 встречаются в природе. При обозначении стереоизомерных М. исходят от 2 гексоз: d- и l глюкозы; М., находящиеся в генетической связи с ними, обозначают теми же буквами, хотя бы они вращали плоскость поляризации света и в другую сторону; например обычная фруктоза обозначается как d-фруктоза, потому что она связана взаимными превращениями с d-глюкозой, вращает же она влево.

М. представляют собою б. ч. кристаллич. вещества, легко растворимые в воде, труднее в спирте, нерастворимые в эфире. При плавлении они разлагаются—буреют и распространяют запах карамели; не перегоняются без разложения даже в высоком вакууме. Все они обладают б. или м. интенсивным сладким вкусом. Наиболее характерное физич. свойство М.—уд. вращение, причем они показывают явление *мутаротации* (см.). Присутствие карбонильной группы или, по современным взглядам, ее бигидратной формы



обнаруживается у них по восстановительной способности (все они восстанавливают при нагревании фелингову жидкость), по реакции с фенилгидразином (образование гидразонов и озазонов) и т. п. При восстановлении М. превращаются в соответствующие многозначные спирты (напр. d-глюкоза в d-сорбит), при окислении—сначала в одноосновные оксикислоты (d-глюкоза в d-глюконовую к-ту), затем в двуосновные оксикислоты (в d-сахарную к-ту). Присутствие спиртовых гидроксилов обнаруживается реакциями метилирования, ацетилирования и др.

М. встречаются в природе: 1) в свободном виде, напр. d-глюкоза, в соке сладких плодов, в различных растительных и животных соках, в крови и т. д.; 2) в виде ди- и полисахаридов; сахар при гидролизе дает смесь d-глюкозы и d-фруктозы, а крахмал и целлюлоза—d-глюкозу:

$$\underset{\text{сахар}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O = \underset{\text{d-глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{d-фруктоза}}{C_6H_{12}O_6};$$

$$\underset{\text{крахмал}}{C_6H_{10}O_5} + H_2O = \underset{\text{d-глюкоза}}{C_6H_{12}O_6};$$

3) в виде *глюкозидов* (см.)—соединений М. с различными органич. веществами; 4) М. входят в состав красящих веществ цветов и плодов (антоцианов); 5) входят в состав дубильных веществ; например китайский таннин является пента-*м*-дигаллоилглюкозой; 6) входят в состав сложных белков—нуклеопротеидов, глюкопротеидов и т. д. В растениях М. образуются при ассимиляции углекислоты воздуха в зернах хлорофилла (за счет энергии солнечных лучей):

$$6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Этот естественный фотохимич. процесс м. б. воспроизведен (в общих чертах) синтетически при помощи ультрафиолетовых лучей (опыты Бели, 1921 г.). Синтетически М. получаются по различным способам: из формальдегида (Бутлеров, 1861 г.), из глицерина (Э. Фишер, 1887 г.).

Лит.: Шорыгин П. П., Химия углеводов и ее применения в промышленности, стр. 16—113, М.—Л., 1926. **П. Шорыгин.**

МОНОТИП, буквоотливная наборная машина. См. *Набор типографский* и *Наборные машины*.

МОНОХОРД, простейший музыкальный инструмент, состоящий из одиночной струны, длина которой м. б. легко изменяема и к-рая обычно натягивается на деке для усиления звучания. М. в акустике применяется для изучения зависимости высоты тона от длины, массы и натяжения струны. Высота тона струны дается формулой: $N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{p}{m}}$, где l—длина, m—масса единицы длины струны, p—ее натяжение. Если при помощи подставки отделять $^1/_1$, $^1/_2$, $^1/_3$ и т.д. часть струны и заставлять ее звучать, то высоты тонов будут в отношении 1:2:3 и т. д., т. е. составят натуральный звукоряд. М. дает удобный способ измерения высоты тона, если основной тон N твердо установлен по камертону. Высота тона, когда колеблется часть l' струны, будет $N' = N\frac{l}{l'}$, т. о. измерение высоты тона сведется к точному измерению длин l и l'. Этот принцип положен в основу прибора Кинга, в котором длина вертикально натянутой между двумя ребрами струны измеряется *катетометром* (см.) и может быть изменяема передвижением ребер. Двухструнный монохорд можно применять для изучения созвучий. **С. Ржевкин.**

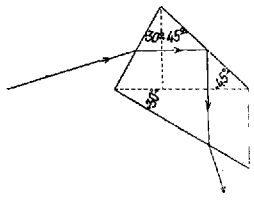
МОНОХРОМАТИЧЕСКИЙ СВЕТ, совершенно однородный свет, с вполне определенной частотой колебаний ν или длиной волны λ; принципиально неосуществим. В любом излучателе светящиеся атомы и молекулы испускают свет только в течение весьма короткого времени. Если бы за это время световые колебания и могли быть представлены в виде точной синусоиды с совершенно

правильным периодом, то все же такая ограниченная во времени синусоида, по теореме Фурье, будет соответствовать целому спектру, т. е. наложению синусоид с различными периодами, амплитудами и фазами. В любом спектральном приборе такое излучение дает линию конечной ширины, т. е. не получается строго М. с. С другой стороны, из непрерывного спектра, полученного в каком-нибудь приборе, принципиально нельзя выделить монохроматич. участок с конечной энергией. Если бы даже спектр был безукоризненно чистым, т. е. одни цвета совершенно не налагались на другие, то для выделения М. с. потребовалась бы бесконечно узкая щель, пропускающая бесконечно малую энергию. Так. обр. в точном смысле слова М. с. получить нельзя. Возможно однако в широких пределах суживать интервал частот $\Delta\nu$ или длин волн $\Delta\lambda$, выделяемых от данного источника. Такой свет, сосредоточенный в б. или м. узком волновом интервале, называют квази-монохроматическим. Проще и удобнее всего квази-монохроматич. свет получается при помощи *светофильтров* (см.), пропускающих определенные спектральные области от источника света. Если источник испускает свет, состоящий из отдельных линий, сравнительно далеко отстоящих одна от другой (напр. ртутная лампа, гейслеровы трубки), то при помощи светофильтров легко выделить одну линию, или же по крайней мере группу линий, весьма близко расположенных одна к другой. Весьма чистый в спектральном отношении квази-монохроматический свет можно получить при помощи *монохроматоров* (см.) с двойным разложением. При некоторых измерениях (напр. поляриметрических) особенно важна высокая степень монохроматичности, наличие же например двух линий в желтом натронном дублете, отстоящих друг от друга на расстоянии в 6 А, уже искажает результаты. В таком случае можно освободиться от одной из линий, пользуясь дисперсией вращательной способности или двойным лучепреломлением в кварце. Кварц толщиной в 32 *мм*, вырезанный параллельно оптической оси, сообщает линии натрия D_2 замедление фазы на $\frac{\lambda}{2}$ большее, чем для линии D_1. Пропуская желтый свет натрия через такой кварц, помещенный между поляризатором и анализатором, можно, поворачивая анализатор на 90°, пропускать либо одну либо другую линию (Вуд и Дюнуайе).

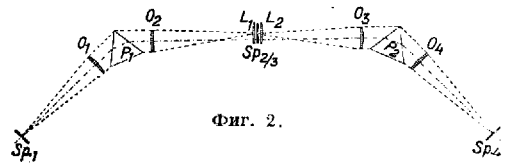
Лит.: Fabry Ch., La lumière monochromatique, sa production et son emploi en optique pratique, P., 1923.

С. Вавилов.

МОНОХРОМАТОР, прибор для выделения узких однородных спектральных областей из сложного излучения светового источника. Всякий спектральный прибор может быть обращен в монохроматор, если в том месте, где получается действительное изображение спектра, поместить щель, выделяющую и пропускающую только определенную часть спектра. К спектральному прибору, сконструированному специально как М., предъявляются следующие требования. 1) Выпускаемый из прибора квази-монохроматический пучок (см. *Монохроматический свет*) для всех областей спектра должен выходить из одного и того же места (фиксированное положение выходной щели) и в одном и том же направлении, иными словами *коллиматор* (см.) и выходная труба со щелью не должны перемещаться. Это достигается применением призм особых форм с постоянным отклонением. Одна из подобных призм представлена на фиг. 1; ее можно рассматривать как построенную из двух 30-градусных призм и одной прямоугольной, причем в некоторых случаях такие призмы изготовляются сплошными, а иногда из различных сортов стекол. Переход от одной части спектра к другой осуществляется вращением призмы. 2) М. должен быть светосильным прибором, для чего необходимо применение больших призм и линз. 3) Во многих случаях важна максимально возможная чистота выпускаемого спектрального участка, для чего применяются двойные М., или же М. с предварительным разложением. Схема одного из таких М. изображена на фиг. 2: P_1 и P_2—две большие призмы; Sp_1—первичная щель;

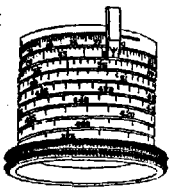


Фиг. 1.



Фиг. 2.

$Sp^2/_3$—вторичная щель первого М. и одновременно первичная второго; Sp_4—выходная щель, являющаяся вторичной щелью второго М.; O_1, O_2, O_3, O_4—объективы; L_1 и L_2—линзы. Щель $Sp^2/_3$ может перемещаться в своей плоскости при помощи микрометрического винта, соединенного с «волновым барабаном» (фиг. 3). В плоскости $Sp^2/_3$ находится изображение спектра, получаемого от первой призмы. В большинстве случаев М. изготовляются специально для видимой области (стеклянная оптика) или для ультрафиолетовой и инфракрасной (кварц или каменная соль). Имеются однако и универсальные приборы со сменной оптикой. Интенсивность света, пропускаемого через монохроматор, всегда невелика вследствие применения по крайней мере двух щелей, поэтому к М. прибегают только в тех случаях, когда по тем или иным причинам нельзя воспользоваться светофильтрами.

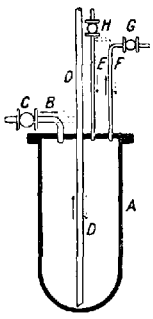


Фиг. 3.

С. Вавилов.

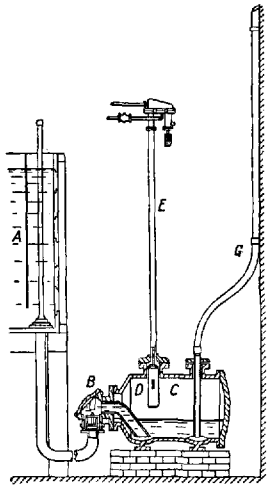
МОНТЕЖЮ, монжю, аппарат для транспортирования к-т, щелочей и прочих жидкостей, накачивания к-т на башни Гловера и Гей-Люссака и других работ, связанных с вертикальным перемещением жидких материалов на химич. з-дах. Один из простых типов М. изображен на фиг. 1. Чугунный, стальной или медный (смотря по назначению) котел A снабжен приспособлением для впуска (труба B с краном C) и выпуска (труба D) транспортируемой жидкости, а также для

впуска и выпуска воздуха (трубы *E* и *F* с кранами *H* и *G*). Жидкость из сборного чана (не показанного на фиг.) поступает в М. по трубе *B*, причем воздух вытесняется через трубу *F*; кран *H* в это время закрыт. По наполнении аппарата закрывают краны *C* и *G* и открывают кран *H*, через который подается сжатый воздух; последний вытесняет жидкость из аппарата через трубу *D*. Прибор можно упростить, соединив трубы *B* и *D* над крышкой котла, а также трубы *E* и *F* (на чертеже показано пунктиром); краны *H* и *G* заменяют в этом случае двухходовым краном. Котел снабжается *люком для осмотра и чистки аппарата* и манометром для контроля давления.



Фиг. 1.

Аппараты, подобные описанному, требуют постоянного наблюдения (открывание и закрывание кранов); гораздо удобнее в заводской практике автоматические М., или пульсометры, один из типов к-рых изображен на фиг. 2. Из сборного чана *A* жидкость поступает через автоматический клапан *B* в котел *C* и, заполняя его, поднимает поплавок *D*; благодаря этому по трубе *E* в котел начинает поступать сжатый воздух. Клапан *B* при этом закрывается, и жидкость вытесняется в трубу *G*. Как только жидкость удалена, воздух свободно выходит через трубу *G*, давление падает, поплавок *D* опускается, и приток воздуха в котел прекращается; далее описанный процесс повторяется снова.



Фиг. 2.

Лит.: Lunge G., Handbuch der Schwefelsäurefabrikation und ihre Nebenzweige, 4 Auflage, B. 1—2, Brschw., 1916.

МОРЕХОДНОСТЬ, совокупность качеств, обусловливающих способность корабля совершать плавание в море и перевозить грузы без опасения их потерять или испортить (подмочить), допуская при этом вероятный риск встречи неблагоприятного состояния погоды и моря. Термин М.—недостаточно определенный и заключает в себе целый ряд отдельных факторов, не могущих быть выявленными достаточно полно и определенно.

Главнейшие факторы М. нижеследующие. 1) Прочность и жесткость корпуса корабля, соответствующие условиям его нагрузки, вероятным условиям плавания как на спокойной воде, так и на волнении. Достаточная в этом смысле М. современных торговых судов достигается постройкой их в соответствии с нормами и правилами, издаваемыми классификационными обществами, у нас—Регистром СССР. 2) Способность корабля противостоять действию волн в смысле защиты от заливания и попадания воды внутрь корабля. При этом преследуется сохранение т. называемой «навигационной платформы», т. е. площади верхней палубы, от непосредственного действия на нее моря. В целях достижения этого служит установление минимальной высоты надводного борта, или, что то же, предельной осадки, допустимой для данного корабля в данных условиях его плавания. По отношению к торговым судам это выражается в определении наименьшей допустимой высоты надводного борта по установленным нормам и правилам (см. *Надводный борт*). 3) Достаточная остойчивость корабля, т. е. способность его возвращаться *в свое первоначальное прямое положение* после действия на него ветра или волн. 4) Сохранение управляемости корабля, т. е. работы его руля и рулевого привода при всех возможных условиях плавания. Кроме упомянутых условий, для достижения М. необходимо наличие достаточно мощных и надежных главных механизмов, приводящих судно в движение, а также целого ряда вспомогательных устройств, обусловливающих способность корабля безопасно совершать плавание. Квалификация экипажа также немаловажный фактор М. корабля; корабль в море с неквалифицированным экипажем не может быть мореходным.

Следует также отметить, что понятие о М. данного корабля, строго говоря, может относиться только к одному определенному роду грузов на определенных рейсах. Корабль, мореходный при данном роде грузов и на данных рейсах м. б. непригодным при ином грузе и в иных условиях плавания. Кроме того о мореходности корабля можно говорить только вне аварийных условий, т. к. аварийный корабль, вне всякой зависимости от прочих факторов М., может сохранить ее исключительно в зависимости от характера самой аварии.

Лит.: Шершов А. П., Практика кораблестроения, ч. 2, Проектирование, постройка и ремонт корабля, 2 изд., Л., 1931 (печат.); Abell T. B., Stability a. Seaworthiness of Ships, L., 1926. **П. Матвеев.**

М. гидроаэроплана представляет собою сумму качеств, обусловливающих способность гидроаэроплана держаться на воде в любую погоду и быть хорошо управляемым при плавании. Всякий гидроаэроплан должен обладать способностью наибольшей непотопляемости, т. е. поплавки или лодка его д. б. в наибольшей степени водонепроницаемыми, и в случае пробития в каком-либо месте днища гидроаэроплан должен обладать такой плавучестью, к-рая поддерживала бы его на воде. Для этих целей *лодка или поплавки разделяются рядом* водонепроницаемых перегородок, причем величина этих отсеков делается такой, чтобы при наполнении одного из них водой лодка или поплавок не только могли поддерживать гидроаэроплан, но и не нарушали бы его остойчивости (см. *Гидроаэроплан*). В хвостовой части лодки эти перегородки делают сплошными; там же, где должен проходить экипаж, устанавливают особые люки, закрывающиеся герметически.

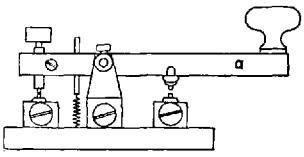
Гидроаэроплан при рулении и при гидропланировании должен обладать способно-

стью хорошо держать курс и не рыскать, что достигается как соответствующими размерами рулей (при гидропланировании), так и формами обводов и длиной лодки или поплавка. При буксировке гидроаэроплана катером он также не должен рыскать. Гидроаэроплан должен обладать хорошей м а н е в р е н н о с т ь ю на воде, т. е. способностью быстро реагировать на рули при плавании как на больших, так и на малых скоростях. Особенно ценно это свойство при малых скоростях, т. к. при больших скоростях на руль направления действуют большие силы от сопротивления воздуха; поэтому для увеличения маневренности на воде у нек-рых лодочных гидроаэропланов в хвостовой части делается водяной руль, действующий от того же ножного управления, как и руль воздушный. Гидроаэроплан должен обладать способностью правильного д р е й ф о в а н и я, т. е. способностью устанавливаться носом к ветру и в таком положении итти. Эта способность в случае вынужденной посадки дает возможность некоторого управления плаванием. Для движения гидроаэроплана в плавании в желательном направлении большие самолеты оборудуются парусными приспособлениями. Чтобы гидроаэроплан мог в бурную погоду держаться на воде, его конструкция должна предотвращать возможность заливания волнами помещения для экипажа, а также перевертывания его при п о д д у в а н и и под крыло. Поэтому большие гидроаэропланы открытого моря делаются по возможности высокобортными. Такими конструкциями являются гидроаэропланы Рорбаха (Германия). Для уменьшения лобовой поверхности, подставляемой под ветер, площадь крыльев гидросамолетов делается сравнительно небольшой, отчего увеличивается нагрузка на $м^2$; однако это не противоречит аэродинамич. требованиям, т. к. увеличение посадочной скорости для гидроаэропланов, в противоположность сухопутным аэропланам, вполне возможно. Увеличение же удельной нагрузки вообще улучшает качество аэроплана; поэтому у гидроаэропланов допускается удельная нагрузка 100 $кг/м^2$ и выше. Для того чтобы крыло при больших кренах не касалось воды, нижние крылья бипланов или крылья, низко расположенные в случае монопланов, делаются **V**-образными.

Лит.: Г е р м а н Г., Поплавки и лодки гидросамолетов, «Кораблестроитель», Ленинград, 1927—28; Б е р х е н С., Основы гидроавиации, Москва—Ленинград, 1928.

В. Александров.

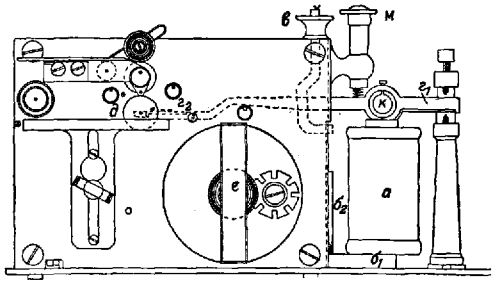
МОРЗЕ АППАРАТ т е л е г р а ф н ы й, телеграфный аппарат, названный по имени его изобретателя (в 1837 г.), Самуила Морзе.



Фиг. 1.

Аппарат состоит из двух основных частей: передатчика (телеграфного ключа Морзе и источника тока) и приемника (электромагнита с якорем). Ключ представлен на фиг. 1. При нажатии рычага *a* ключа в линию посылается телеграфный сигнал, который воспринимается приемником. Встречаются два типа приемника Морзе: пишущий и слуховой—*клопфер* (см.). В том и другом случае телеграмма передается особыми сигналами—знаками Морзе (см. *Азбука Морзе*).

Пишущий приемный (фиг. 2) аппарат Морзе в настоящем своем виде состоит из следующих частей: 1) электромагнита, 2) пишущего рычага, 3) часового механизма. Электро-



Фиг. 2.

магнитный механизм М. а. состоит из двух электромагнитов *а* с полюсными надставками, поставленных на горизонтальное колено $б_1$ железного угольника $б_1б_2$, вследствие чего образуется подковообразный электромагнит. Вертикальным коленом угольника $б_1б_2$ электромагнит прикрепляется к нижней подвижной части боковой стенки корпуса аппарата. На оба железных стержня электромагнита надеты цилиндрические катушки с намотанной проволокой (от 7 000 до 10 000 витков), диаметром в 0,2 *мм*, так что сопротивление обмоток постоянному току составляет 600—700 Ω. При помощи особого регулировочного винта *в* можно передвигать железный угольник $б_1б_2$, а следовательно и прикрепленный к нему электромагнит. Такое устройство позволяет приближать электромагнит к якорю *к* или же удалять от него, чем и достигается изменение чувствительности системы. Якорь *к* электромагнита представляет собою полый железный цилиндрический стержень с разрезом вдоль образующей для уничтожения *паразитных токов* (см.). При отсутствии тока в обмотках электромагнита якорь оттягивается кверху спиральной пружиной, регулируемой винтом *м*. Якорь электромагнита охватывается латунным рычагом $г_1г_2$ (пишущим рычагом). На конце $г_2$ рычага прикреплена стальная пружина с выемкой, в которой помещается ось пишущего колесика *д*. Это колесико при работе погружается в сосуд с краской одной своей половиной, а другой—касается ленты, которая движется при помощи особого часового механизма. Часовой механизм состоит из системы шестерен и колес, к-рая приводится в движение пружиной, помещающейся в барабане *е*. Вся система устанавливается на деревянном ящике, внутри которого помещается круг ленты. В настоящее время применение аппарата Морзе сильно ограничено, вследствие его малой производительности.

В с п о м о г а т е л ь н ы е ч а с т и М. а. 1) Г р о м о о т в о д—состоит из двух плоских или с острыми ребрами поверхностей, разделенных тонким (0,15 *мм*) слоем воздуха или другого диэлектрика; один из электродов соединяется с проводом, другой—с за-

землением. При действии громоотвода высокое напряжение (> 300 V) пробивает слой диэлектрика, а большая частота тока атмосферного разряда встречает со стороны обмоток электромагнита приемника громадное сопротивление, и таким образом разряд, минуя аппарат, направляется непосредственно в заземление громоотвода (см. *Разрядники*). 2) *Гальваноскоп* (см.) служит для контроля за порядком величины и направлением входящего или исходящего тока.

Лит.: Яблоновский Н. А., Электрический телеграф, М., 1923; Ошовский С. П., Телеграфия и телефония, Киев, 1915. **В. Дубовик.**

МОРСКАЯ АВИАЦИЯ обслуживает полеты над водными пространствами на специальных самолетах—*гидроаэропланах* (см.), делающих взлет и посадку на воду. М. а. имеется как в гражданских, так и военных воздушных флотах. В гражданском флоте М. а. обслуживает воздушные линии, пролегающие над водными пространствами; в военном воздушном флоте М. а. представляет особый род оружия и концентрируется вблизи военных морских портов; на театре военных действий она выступает или совместно с морским флотом или самостоятельно. Для обслуживания кораблей, гл. обр. с целью разведки, в М. а. применяются легкие гидроаэропланы, взлетающие или с *катапульты* (см.),—т. н. катапультные аэропланы, или прямо с палубы—корабельные аэропланы. Катапультные аэропланы стали применяться также и на пассажирских океанских пароходах для доставки почты. Гидроаэропланы М. а. должны обладать определенными свойствами мореходности (см. *Мореходность* гидроаэроплана), гидроаэропланы же, обслуживающие полеты над реками, могут обладать этими свойствами в меньшей степени. Эти гидроаэропланы относятся к так наз. речной авиации.

Лит.: Берхен С., Основы гидроавиации, М.—Л., 1928; Александров В. Л., Аэропланы, М.—Л., 1930. **В. Александров.**

МОРСКАЯ ВОДА. Из общей поверхности земного шара в 510 млн. км² только 149 млн. км² занято сушей, остальные же 361 млн. км² приходятся на водную поверхность, составляющую так. обр. около 71% всей поверхности земного шара. Распределение всей водной поверхности по отдельным бассейнам характеризуется табл. 1.

Табл. 1.—Распределение водной поверхности по бассейнам.

Наименование бассейнов	Площ. в млн. км²	Площ. в % от всей поверхн. М. в
Тихий океан	166	46
Атлантич. океан	82	23
Индийский океан	73	20
Все три океана	321	89
Междуматериковые и внутриматериковые моря	32	9
Окраинные моря	8	2
Все моря	40	11
Вся поверхность М. в.	361	100

Химический состав. М. в. представляет водный раствор различных солей. Общее число химических элементов, встречаемых в М. в., достигает 32, однако большинство из них содержится в совершенно ничтожных количествах, а в основном М. в. океанов заключает лишь следующие соли:

	На 1 кг воды в г	В % от всего колич. солей
Хлористый натрий (поваренная соль)	27,2	77,8
Хлористый магний	3,8	10,9
Сернокислый магний	1,7	4,7
Сернокислый кальций	1,2	3,6
Сернокислый калий	0,9	2,5
Углекислый кальций	0,1	0,3
Бромистый магний	0,1	0,2
Итого	35,0	100,0

Многочисленные исследования состава М. в. океанов, взятой с различных мест вдали от берегов, как на поверхности, так и с разных глубин, показали, в пределах точности современных методов исследования, постоянство относительного содержания солей; последнее позволяет определять состав морской воды в океанах по содержанию лишь одного из входящих в нее элементов, например хлора.

Соленость, удельный вес и плотность. Соленостью М. в. называют общее весовое количество солей, выраженное в промилях (‰); ее принято обозначать знаком S ‰. Удельным весом М. в. в океанографии называют отношение веса объемной единицы М. в. при $t° = +17{,}5°$ к весу той же объемной единицы дистиллированной воды при той же $t°$; уд. вес обозначают знаком $\varrho_{17,5°}$ и сокращенно выражают, отбрасывая 1 и перенося запятую десятичного знака на 3 цифры вправо, т. е. вместо $\varrho_{17,5°} = 1{,}02641$ пишут $\varrho_{17,5°} = 26{,}41$. Плотностью М. в. называют отношение веса ее объемной единицы в естественном состоянии (при темп-ре, которую она имела в природе—in situ) к весу той же объемной единицы дистиллированной воды при +4°. Плотность М. в. обозначается σ_t; для численного выражения ее принято дел..ть такое же сокращение, как и для удельного веса. Исследованиями Международной комиссии по изучению моря в М. в. установлена следующая функциональная зависимость между соленостью, уд. в., плотностью и содержанием хлора:

$$S = 0{,}030 + 1{,}8050\ Cl.$$
$$\sigma_0 = -0{,}069 + 1{,}4708\ Cl - 0{,}001570\ Cl^2 + 0{,}0000398\ Cl^3.$$
$$\varrho_{17,5°} = (0{,}1215 + \sigma_0 - 0{,}0595\ \sigma_0 + 0{,}000155\ \sigma_0^2) \times 1{,}00129.$$
$$\sigma_0 = -0{,}093 + 0{,}8149\ S - 0{,}000182\ S^2 + 0{,}0000068\ S^3.$$

Соотношение величин S, $\varrho_{17,5°}$ и σ_t М. в. характеризует табл. 2.

Табл. 2.—Соотношения величин S, $\varrho_{17,5°}$ и σ_t.

S‰	0,00	10,00	20,00	30,00	35,00	40,00
$\varrho_{17,5°}$	0,00	7,69	15,30	22,92	26,74	30,58
σ_0	0,99987*	8,02	16,07	24,11	28,13	32,17
$\sigma_{5°}$	0,99999*	7,97	15,86	23,75	27,70	31,67
$\sigma_{20°}$	0,99823*	5,86	13,4..	20,99	24,78	28,60
$\sigma_{30°}$	0,99567*	3,15	10,5.	18,01	21,75	25,51

* Данные значения σ_0, $\sigma_{5°}$, $\sigma_{20°}$, $\sigma_{30°}$, меньшие 1, приведены без указанного выше сокращения; остальные значения этих величин, а также и $\varrho_{17,5°}$ в таблице и ф-лах имеют указанное ранее условное сокращенное выражение.

В зависимости от интенсивности испарения под действием ветра и нагревания солнеч-

ными лучами, а также от количества атмосферных осадков, от темпа таяния льдов и от объемов пресных вод, выносимых реками, соленость М. в. в различных местах океанов и в разных морях в разное время года бывает весьма различна. Средние и крайние значения солености М. в. в океанах на поверхности определяются табл. 3.

Табл. 3.—Средние и крайние значения солености М. в. в океанах (в ‰).

Соленость между 60° с. и ю. широт	Атлантический	Тихий	Индийский	Весь мировой
Северн. части . . .	35,8	34,6	35,0	—
Южн. » . . .	35,0	35,1	34,7	—
В среднем	35,4	34,9	34,8	35,0
Минимум	35,0	34,0	32,0	32,0
Максимум	37,9	36,9	36,5	37,9

Разница в солености морей более значительна. В Средиземном море средняя соленость колеблется от 37 до 39‰. В Красном море соленость в отдельных местах достигает 41‰. Черное море в с.-в. части имеет соленость ок. 17‰, а в средней и южной частях до 18,5‰. В Мраморном море, которое в отношении солености занимает среднее положение между Средиземным и Черным морями, соленость колеблется от 20—21‰ у Босфора, до 24,5—25,0‰ у Дарданелл. Азовское море имеет относительно весьма малую соленость, варьирующую в разных местах в пределах 9,3—12,0‰. Соленость Балтийского моря еще меньше: в Ботническом заливе—от 5‰ в южной части, до 2‰ в северной; в Финском заливе (по середине) она равняется ок. 4,5‰, а вглубь залива уменьшается до 2,0‰; между Готландом и Аландскими островами—6,0—6,7‰ и наконец как максимум—в Бельтах, в зависимости от направления ветра (с З. или В.), соленость колеблется от 10 до 22‰. Белое море в горле имеет соленость, близкую к океанской, именно около 33‰; в середине—от 25 до 26‰ и в южной части Двинского залива—около 19‰. В Каспийском море вдали от берегов соленость варьирует в разное время года от 10 до 15‰; от Дербента к С. вдоль берега идет полоса солености от 1 до 10‰; в совершенно особом положении находится Карабугазский залив, в котором соленость на поверхности достигает громадной цифры 164‰.

Распределение солености М. в. на глубинах в океанах еще мало изучено. Имеющиеся данные показывают, что заметные колебания солености имеют место только в поверхностном слое воды до глубины не свыше 1 000 *м*.

В морях как правило соленость воды возрастает с глубиной, а именно; в Мраморном море она равняется у дна—до 38,0—38,8‰, в Черном—до 22,5‰, в Азовском—до 16‰. В отдельных случаях однако наблюдается обратная картина, например в восточной части Средиземного моря, где на поверхности соленость выше 39,0‰, а с глубиною она несколько убывает (до 38,7‰).

Плотность М. в. в океанах в разных местах на поверхности варьирует от 1,0220 до 1,0275. С глубиной плотность М. в. возрастает согласно следующим данным, соответствующим поверхностной плотности 1,02810:

Глубина в *м* . . .	100	1 000	3 000	6 000	10 000
Плотность	1,02856	1,03274	1,04222	1,05694	1,07758

В Средиземном море плотность воды возрастает от 1,02568 на поверхности до 1,02908 в придонном слое. Аналогичным образом от поверхности к придонному слою плотность М. в. возрастает и в Мраморном море с 1,01329 до 1,02884 и в Черном—с 1,0080 до 1,0173.

Давление и сжимаемость. С возрастанием глубины давление увеличивается приблизительно на 1 *atm* на каждые 10 *м*. Т. о. на глубине напр. 5 000 *м* М. в. находится под давлением ок. 500 *atm*, а на наибольшей наблюденной в мире глубине, в Тихом океане у Филиппинских островов, 9 778 *м*, М. в. находится под давлением около 1 000 *atm*. Такие значительные давления, несмотря на весьма малую сжимаемость воды (коэф-т сжимаемости дистиллированной воды равняется 0,0000490, а у М. в. этот коэф. понижается с увеличением солености и при $S = 35‰$ он составляет 0,0000442), создают все-таки значительное сжатие всего слоя морской воды в океанах. О величине этого сжатия дает представление следующий примерный расчет. Если принять среднюю глубину всех океанов 3 700 *м*, то при абсолютной несжимаемости М. в. ее общий объем превышал бы фактич. объем этих океанов на 11 000 000 *км*³, что при равномерном распределении по всей поверхности океанов (361 млн. *км*²) повысило бы существующий океанский уровень примерно на 30 *м* и соответственно сократило бы поверхность суши.

Содержание газов. При солености 35‰ и нормальном атмосферном давлении 1 *л* М. в. поглощает в зависимости от $t°$ следующие количества кислорода и азота:

$t°$	−2°	0°	+15°	+30°
O	8,47	8,03	5,84	4,50 *см*³
N	15,00	14,40	11,12	9,26 »

Углекислота в свободном состоянии содержится в М. в. океанов в ничтожном количестве. Вопрос о распределении кислорода и азота по поверхности и глубине океанов еще недостаточно исследован. Имеющиеся данные показывают, что в Атлантическом океане на поверхности М. в. содержит—у экватора на 1 *л* около 4—5 *см*³ кислорода, на 50° с. широты—около 6—7 *см*³ и на 50° южной широты—ок. 7—8 *см*³ кислорода. С увеличением глубины содержание кислорода в М. в. быстро убывает. В разных морях содержание газов весьма различно. На поверхности М. в. поглощает тем больше атмосферного воздуха, чем ниже температура и меньше соленость.

В Средиземном море содержание кислорода в 1 *л* М. в. на поверхности варьирует в разных местах от 4,4 до 5,3 *см*³, а на значительных глубинах от 4,0 до 4,6 *см*³. В Черном море на поверхности М. в. почти насыщена кислородом, а на глубинах от 150 *м* до дна кислород совершенно отсутствует и вместо него там образуется сероводород, содержание которого на глубине 200 *м* составляет ок. 0,4 *см*³ на 1 *л* М. в., а в придонных слоях на больших глубинах (1 000—2 000 *м*) достигает до 5,0 *см*³ на 1 *л* М. в. В Балтийском море содержание кислорода на поверхности близко к насыщенному состоянию, т. е. составляет около 8 *см*³ на 1 *л* воды, а в наиболее глубоких частях моря падает до 4 и даже в отдельных местах до 2 *см*³ на 1 *л* воды. В Каспийском море на поверхности содержание кислорода также близко к насыщенному, а с глубины ок. 300 *м* оно сильно падает и на глубине 600—700 *м* кислород совершенно отсутствует.

Теплоемкость, наибольшая плотность и замерзаемость. Зависимость теплоемкости М. в. от ее солености определяется следующими данными:

Соленость $S‰$ . . .	0,00	20,0	30,0	35,0	40,0
Теплоемкость . . .	1,000	0,951	0,939	0,932	0,926

Сравнение с другими телами, как то: льдом, чугуном, гранитом, воздухом, имеющими теплоемкости соответственно 0,505, 0,130, 0,200 и 0,237, показывает, насколько относительно велика теплоемкость М. в. Запасы тепла, заключающиеся в М. в. океанов и морей, имеют громадное значение для климата земли. При уд. весе М. в. 1,02813 (при 0° и $S = 35‰$) и воздуха 0,00129 охлаждение 1 *см*³ М. в. на 1° может выделяемою при этом теплотою повысить температуру воздуха

объемом (1,02813 × 0,932) : (0,00129 × 0,237), равным 3 134 $см^3$, на 1°. Темп-ра замерзания М. в., а также темп-ра наибольшей плотности ее с увеличением солености понижаются, а соответствующие плотности повышаются, как указано в табл. 4.

Табл. 4.—Зависимость $t°$ замерзания и плотности М. в. от солености.

	Соленость, $S‰$	0	5	10	15	20	24,695	25	30	35	40
Замерзание	Температура	0°	−0,3°	−0,5°	−0,8°	−1,1°	−1,332°	−1,35°	−1,6°	−1,9°	−2,2°
	Плотность (сокращ. выражение)	—	3,94	8,00	12,02	16,07	19,85	20,10	24,14	28,21	32,27
Наибольшая плотность (сокращенное выражение)		—	4,15	8,18	12,13	16,07	19,85	20,10	24,15	28,22	32,32
$t°$ наибольшей плотности		+3,98°	+2,9°	+1,9°	+0,8°	−0,3°	−1,332°	−1,4°	−2,5°	−3,5°	−4,5°

При обращении М. в. в лед часть имевшихся в ней солей не переходит в лед, а выделяется в находящуюся под ним М. в., повышая ее соленость; с другой стороны, масса льда всегда заключает в себе пузырьки воздуха; по этим причинам лед из М. в. в массе имеет обычно уд. вес ок. 0,9, вследствие чего, при уд. весе М. в. в полярных странах ок. 1,026, глыба льда правильной призматич. формы имеет соотношение высот надводной и подводной частей порядка 1 : 7.

Температура на поверхности и глубинах океанов и морей. Средние $t°$ М. в. на поверхности океанов определяются следующими цифрами:

Атлантический . +16,9° Тихий . . . . . +19,1°
Индийский . . . . +17,0° Весь мировой океан +17,4°

Суточные амплитуды $t°$ М. в. на поверхности океанов вдали от берегов весьма незначительны, именно в тропиках не превышают 0,5°, в широтах 30—40° составляют около 0,4° и в более высоких широтах ок. 0,1°. Средние годовые амплитуды той же $t°$ характеризуются следующими данными:

Средние амплитуды годовой $t°$ М. в. на поверхности.

Северное полушарие

Градусы широты . . .	50	40	30	20	10
Годовая амплитуда .	8,4°	10,2°	6,7°	3,6°	2,2°

Южное полушарие

Градусы широты . . .	0	10	20	30	40	50
Годовая амплитуда .	2,3°	2,6°	3,6°	5,1°	4,8°	2,9°

В отдельных местах на поверхности океанов наблюдались гораздо более значительные годовые колебания $t°$, достигавшие 20° и даже 30°.

Наименьшая $t°$, наблюденная на поверхности океана вдали от берегов (в Атлантическом океане, к востоку от полуострова Новая Шотландия), составляла −3,3°; самая высокая $t°$ (в тропич. области Тихого океана) +32°. В морях, вследствие влияния суши, колебания поверхностной $t°$ более значительны, чем в океанах. В Черном море бывает t_{max} 22—26° и t_{min} в южной части 8—12°, а в северной 6—8°, где в исключительных случаях она спускается до 0 и даже несколько ниже, так что образуется лед. Наивысшие поверхностные $t°$ в Балтийском море колеблются от 10° в северной части до 16—17° в южной; в Азовском—достигают 25—26° и в Каспийском—до 23°.

Суточные колебания $t°$ проникают с поверхности на весьма небольшие глубины, порядка 25—30 *м*. Годовые изменения $t°$ передаются в глубину до 150—200 *м*. На более значительных глубинах $t°$ М. в. не подвергается периодич. колебаниям. Везде в открытых океанах, кроме полярных стран, $t°$ М. в. непрерывно уменьшается от поверхности до дна, однако это убывание $t°$ идет весьма неравномерно; напр. в тропическом поясе от поверхности до глубины 1 000 *м* $t°$ падает с 22—28° до 3,5—4°; далее до 1 500 *м* падение $t°$ происходит значительно медленнее и наконец за этим пределом падение температуры происходит настолько медленно, что при переходе с глубины 1 500 *м* до 5 500 *м*, $t°$ падает всего на 1—2°.

Придонные $t°$ Тихого и Индийского океанов колеблются в пределах от 0 до + 2,0, а в Атлантическом океане местами снижаются до −0,9° и даже −1,2°. В полярных областях вертикальное распределение $t°$ М. в. несколько иное, именно в верхнем слое $t°$ варьирует от +1,0° до −1,0°, ниже лежит слой воды с $t°$ выше нуля, и затем до дна идет опять слой холодной воды, имеющий $t°$ ок. −0,5°. В морях придонная $t°$ весьма различна, именно: в Красном море ок. +21,5°, в Средиземном—ок. +13,0°, в Черном—ок. +9,0°, в Каспийском—ок. +5,0° и в Белом море—ок. −1,5°.

Прозрачность, цвет, распространение звука. Прозрачность М. в. до последнего времени определялась диском Секки, представляющим металлич. диск диаметром 30 *см*, окрашенный в чисто белый цвет. Мерилом прозрачности служила предельная глубина погружения диска, при которой его еще можно различить с поверхности. Прозрачность М. в. в значительной степени зависит от угла падения солнечных лучей, т. е. от высоты солнца над горизонтом, и от количества неорганич. веществ и мельчайших организмов (т. н. планктона), находящихся в ней.

Наибольшая прозрачность наблюдалась в Атлантическом океане (в Саргассовом море), где диск Секки был виден до глубины 66,5 *м*. В Индийском океане наибольшая прозрачность составляет 40 — 50 *м*, а в Тихом океане наблюдалась прозрачность до 59 *м*. В Красном и Средиземном морях прозрачность достигает 50 *м*, в Балтийском составляет 10—13 *м*, а в Белом—всего лишь 6—8 *м*.

В новейшее время глубина проникновения солнечного света в М. в. определялась фотографич. путем, причем установлено, что пределом светопроницаемости М. в. является глубина 1 000—1 700 *м*.

Цвет М. в. определяется сравнением с шкалой Фореля, представляющей набор стеклянных трубок, наполненных особым образом составленными цветными растворами, заключающими серию последовательных тонов от темноголубого цвета до зеленовато-желтого (11 основных тонов) и далее до чисто коричневого цвета (10 дополнительных тонов). Наблюдения над цветом М. в. показа-

ли, что оптически пустая вода, т. е. не содержащая никаких непрозрачных плавающих мельчайших частиц, поглощает красные и желтые лучи солнечного спектра, но пропускает голубые лучи, и потому сама принимает голубой цвет. В природе цвет М. в. всецело зависит от количества и рода взвешенных в ней мельчайших неорганических частиц, а также населяющих ее мелких организмов (планктона).

В открытом океане М. в. по преимуществу имеет темноголубой цвет (номер 0 по шкале Фореля); воды Гольфштрома обладают нежным голубым цветом. В Красном море цвет воды варьирует от голубого (номера 0—2) до голубовато-зеленого (номера 2—5); в Немецком и Балтийском морях—от голубовато-зеленоватого до мутно-зеленого (номера 9—12 по шкале Фореля).

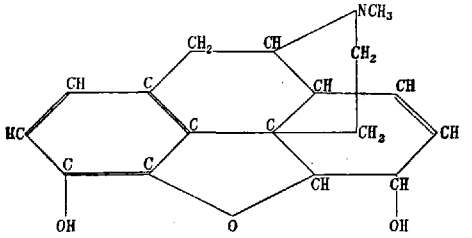
Скорость распространения звука, составляющая для пресной воды 1 435 *м/сек*, увеличивается с повышением солености воды и в условиях океанской солености ее определяют в 1 500 *м/сек*.

Лит.: Книпович Н. М., Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана, СПБ, 1906; его же, Экспедиция для научно-промысловых исследований у берегов Мурмана, СПБ, 1902—04; его же, Данные по гидрологии и гидробиологии Черного и Азовского морей, «Труды Азовско-Черноморской научно-промысловой экспедиции», Керчь, 1926, вып. 1; «Известия Центрального гидро-метеорологического бюро», П.—Л., 1923—29, вып. 1—8; «Труды Плавучего морского научного ин-та», М., 1924—29; Макаров С. О., «Витязь» и Тихий океан, СПБ, 1894; Шпиндлер И., Гидрология моря, т. 1, СПБ, 1914; Шокальский Ю., Океанография, П., 1917; Brennecke W., Ozeanographie, B. 3, B., 1909; Knudsen M., Hydrographical Tables, Copenhagen, 1901; Krümmel O., Handbuch d. Ozeanographie, 2 Aufl., B. 1—2, Stg., 1907—11; Richard J., L'océanographie, P., 1907; Nansen F., The Waters of the North-eastern, N. Atlantic, 1913; Malmgren F., On the Properties of S a-ice, Bergen, 1927.

Техническое значение и применение. М. в. используется на морских судах: а) в качестве балласта, для увеличения их остойчивости при совершении рейсов в одну сторону порожняком; б) для изменения диферента путем перекачки М. в. из носовых балластных цистерн в кормовые и обратно; этим пользуются при снятии судов с мели, а также освобождении их из ледяного затора; в) в качестве охладителя при конденсации отработавшего пара (циркуляционная вода); г) для противопожарных и санитарных целей; д) в отдельных случаях, преимущественно на военных судах, для пополнения запасов питательной воды для паровых котлов, а также и питьевой воды после переработки в опреснительных установках (см. *Опреснители*); е) в качестве заземления для судовых радиоустановок, так как соленость М. в. придает ей электропроводность. В промышленности М. в. используется для добычи поваренной соли (NaCl); добыча эта производится преимущественно в местностях с теплым климатом посредством выпаривания М. в. при помощи солнечного тепла в береговых бассейнах значительной площади, но малой глубины (в СССР подобным образом ведется добыча соли из М. в. Карабугазского залива, Каспийского моря, а также из М. в. Черного моря в Крыму). Добыча поваренной соли из М. в. составляет около 18% от всей мировой добычи соли. В строительстве приморских сооружений М. в. используется: а) наравне с пресной водой при изготовлении бетонов и цементных растворов, а также при производстве бетонной и бутовой накладки; б) для разжижения грунта в целях передачи его на расстояние по лоткам и трубопроводам (см. *Землечерпательные снаряды*). Наконец как среда, в которой находятся приморские сооружения, М. в. характеризуется: а) в отношении конструкций деревянных (при отсутствии древоточцев) и металлических—почти полным отсутствием разрушительного влияния, при условии однако постоянного нахождения их в М. в. без периодического выхода на дневную поверхность (напр. при отливе, сгоне и т. п.); б) в отношении бетонных и бутовых конструкций — б. или м. разлагающим действием, в зависимости от состава гидравлич. раствора, именно меньшего или большего применения гидравлич. добавок (пуццолан, трасса и т. п.).

Лит.: Каула Р. Д. и Робинсон И. В., Конденсационные установки, пер. с англ., Л., 1929; Макеев В. А., Конденсационные устройства паросиловых установок, М.—Л., 1930; Стриж К. А., Корабельные конденсационные устройства, М., 1926; Гордон И. Л., Вода и ее очистка для питания котлов и промышл. целей и питья, М., 1927; Лукьянов П. М., Курс химич. технологии минеральных веществ, 2 изд., ч. 1, М., 1929. **П. Божич.**

МОРФИН, $C_{17}H_{19}NO_3 \cdot H_2O$, важнейший алкалоид *опия* (см.); первый алкалоид, выделенный (Дерон и Сертюрнер, 1803—1805 гг.) в растительном царстве. Содержание морфина в опии сильно колеблется (от 3 до 23%), но в среднем равняется 10% веса сухого опия. Состав М. установлен Лораном (Laurent) в 1848 г. Строение М. не вполне выяснено, но наиболее вероятной можно считать формулу Робинсона:



Морфин горек на вкус, без запаха, мало растворим в воде, еще менее в эфире, уксусном эфире и бензоле; кристаллизуется с одной молекулой воды, плавится (с разложением) при 230°. Хлористоводородн. соль морфина, $C_{17}H_{19}NO_3 \cdot HCl \cdot 3\,H_2O$, кристаллизуется с 3 молекулами воды; хорошо растворима в горячей воде, трудно—в холодной; при нагревании в HCl М. отщепляет частицу воды и переходит в апоморфин, $C_{17}H_{17}NO_2 \cdot HCl$.

Имеется много способов выделения М. из опия. По способу Робертсона-Грегори к водному экстракту опия прибавляют $CaCl_2$, отфильтровывают выделившийся меконово-кислый кальций, фильтрат упаривают в вакууме и оставляют его в спокойном состоянии на несколько дней в холодном месте; при этом выделяется кристаллич. масса, представляющая смесь хлористоводородных солей М. и кодеина (соль Грегори). Смесь эту очищают путем кристаллизации из воды, вновь растворяют и к раствору прибавляют избыток аммиака; при этом осаждается М., кодеин же остается в растворе. Выделившийся М. отсасывают, промывают холодной водой и перекристаллизовывают из кипящего

спирта или очищают, переводя через хлористоводородную соль.

В СССР для получения М. из опия применяют способ Н. Г. Пацукова [1]: водную вытяжку опия упаривают в вакууме до веса взятого опия, разбавляют равным объемом спирта и осаждают аммиаком; при этом выпадают основания М. и отчасти наркотина и папаверина, смолы же остаются в растворе; осадок промывают водным спиртом, затем теплой водой с аммиаком; промытую смесь алкалоидов обрабатывают слабой уксусной к-той, отфильтровывают нерастворившийся осадок наркотина и других алкалоидов, а М. выделяют аммиаком из раствора уксуснокислого М. В 1929—30 гг. в лаборатории КЕПС Академии наук СССР были разработаны методы выделения М. из опия, позволяющие извлекать до 94% всего М., определенного по методу Штубера (Хим.-фарм. ин-т ВСНХ). Выходы М. значительно повышаются при продолжительном встряхивании экстракционной смеси, применении быстроходной мешалки, а также в случае осаждения М. из опийных экстрактов оптимальным количеством аммиака. Последний метод, разработанный О. А. Зейде, отличается тем, что количество аммиака, необходимое для полного осаждения М., определяется экспериментально для каждой партии опия. Вновь разработанный метод очистки технич. М., полученного осаждением аммиаком из опийных экстрактов, заключается в том, что смесь алкалоидов, состоящую гл. обр. из М. и наркотина, растворяют в соляной (или другой минеральной) к-те, выделяют наркотин из раствора уксуснонатриевой солью и из фильтрата выделяют М. обычным методом.

М. в больших количествах идет на получение синтетич. *кодеина* (см.), а также дионина (диэтилморфина), героина (диацетилморфина), апоморфина и других препаратов М., применяемых в медицинской практике. Хлористоводородная соль М. имеет большое применение в медицине как болеутоляющее и снотворное средство; готовится на алкалоидном з-де Госмедторгпрома в Москве. Технич. морфий вырабатывается на з-де Казхимтреста в Чимкенте в количестве 3 500 *кг* в год.

Лит.: [1]) Сов. П. 127.—Чичибабин А. Е., Основные начала органич. химии, 2 изд., М.—Л., 1929; Schwyzer J., Die Fabrikation d. Alkaloide, Berlin, 1927; Schmidt E., Ausführliches Lehrbuch der pharmazeutischen Chemie, B. 2, Abt. 2, Braunschweig, 1923. **М. Кацнельсон.**

МОСТИК ВИТСТОНА (Уитстона), схема электрич. *измерений* (см.) при помощи нулевого метода; М. В. представляет собой четырехугольник, сторонами которого являются сопротивления, причем в одну диагональ включен источник тока, а в другую — какой-либо индикатор тока (гальванометр, телефон, реле и т. п.). Если включить источник тока E вместе с четырьмя сопротивлениями R_1, R_2, R_x, R_v и гальванометр G согласно фиг. 1, то будут иметь место отмеченные на схеме токи I и потенциалы V. Отрегулируем сопротивления так, чтобы потенциал V' в точке c был равен потенциалу V'' в точке d, в чем можно убедиться по отсутствию отклонения гальванометра, так как если $V'=V''$, то $I=0$. При этом в каждой ветви разность потенциалов д. б. равна произведению силы тока на сопротивление:

$$V_1-V'=I_1R_1, \quad V_1-V''=I_xR_x,$$
$$V'-V_2=I_2R_2, \quad V''-V_2=I_vR_v.$$

Так как $V'=V''$, то

$$I_1R_1=I_xR_x \text{ и } I_2R_2=I_vR_v;$$

поэтому

$$\frac{I_1R_1}{I_2R_2}=\frac{I_xR_x}{I_vR_v}.$$

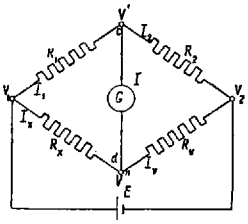
Если $I=0$, то $I_1=I_2$ и $I_x=I_v$ и следовательно

$$R_1R_v=R_2R_x.$$

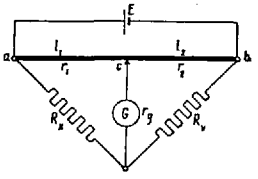
Если известны три из этих четырех сопротивлений или отношение двух соседних, то можно вычислить четвертое:

$$R_x=R_v\frac{R_1}{R_2}.$$

Кирхгоф заменил сопротивления R_1 и R_2 одной прямолинейно натянутой проволокой (температурный коэфициент проволоки должен быть крайне незначительным). В этом случае для измерения неизвестного сопротивления R_x необходимо только одно известное сопротивление R_v. Точку разветвления c образует подвижной контакт в форме лезвия (так называемая «ползушка»); он служит для того, чтобы иметь возможность постепенно и плавно изменять длины l_1 и l_2 (фиг. 2). Если проволока однородна и калибрована, т. е. по всей длине одинакового материала и одинакового сечения, то сопротивление r_1 между точками a и c пропорционально l_1, и равным образом r_2 (между точками c и b) пропорционально l_2. Устанавливая ползушку так, чтобы ток не протекал через гальванометр, будем иметь соотношение:



Фиг. 1.



Фиг. 2.

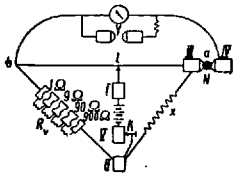
$$\frac{R_x}{R_v}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{l_1}{l_2},$$

или

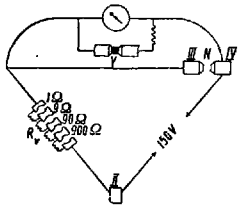
$$R_x=R_v\frac{l_1}{l_2}.$$

Наиболее употребительная форма практического выполнения проволочного мостика — универсальный гальванометр фирмы Сименс и Гальске, посредством к-рого можно производить измерения: 1) сопротивления, 2) изоляции, 3) напряжения батареи, 4) внутреннего сопротивления элементов, 5) силы тока. Схема универсального гальванометра показана на фиг. 3. Прибор укреплен на круглом широком диске, по окружности которого натянута калиброванная проволока. По краю верхней плоскости диска нанесены деления. По проволоке скользит контактный рычаг с роликом, прижимаемым к проволоке особой пружинкой. Реостатная ветвь R_v состоит из четырех сопротивлений: $1+9+90+900=1\,000$ Ω. Сопротивления в 1, 9 и 90 Ω изготовляются из манганиновой проволоки,

бифилярно намотанной на деревянные катушки. Сопротивление 900 Ω помещено внутри кольца треножника прибора. Гальванометр снабжен шунтом, к-рый включается помощью штепселя Y; ключ K служит для замыкания батареи. Для измерения сопротивлений схема составляется согласно фиг. 3, причем штепсель Y должен быть вынут, а штепсель N вставлен. Напряжение измеряют по схеме, показанной на фиг. 4; штепсель Y вставлен, штепсель N вынут. Сопротивление в 1 Ω в ветви R_v замкнуто. Таким образом прибор превращается в вольтметр с зажимами II и IV для непосредственного измерения напряжения до 150 V. При схеме по фиг. 4 сопротивление прибора (вольтметра) составляет ровно 1 000 Ω, т. к. сопротивление шунтированного гальванометра равно 1 Ω. Поэтому отклонение гальванометра



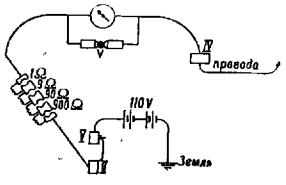
Фиг. 3.



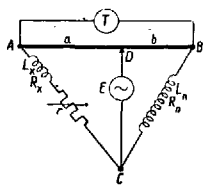
Фиг. 4.

на 1 деление при напряжении у зажимов II и IV в 1 V соответствует силе тока, проходящего через прибор, в 1 mA. Следовательно для измерения силы тока схема отличается от предыдущей схемы тем, что все четыре штепселя ветви R_v вставлены. Прибор дает возможность измерять силу тока до 150 mA. При измерении изоляции (напр. провода по отношению к земле) схема принимает вид фиг. 5. Если применять батарею с напряжением в 100 V, то прибор дает возможность измерить изоляцию до 1 MΩ при отклонении стрелки на 0,1 деления.

М. В. может быть применен для измерения переменным током, тогда он называется м о с т о м В и н а. Измерение самоиндукции и сопротивления производятся по схеме, приведенной на фиг. 6, где L_x—измеряемая са-



Фиг. 5.



Фиг. 6.

моиндукция, L_n—эталон самоиндукции; R_x и R_n—соответственно величины сопротивлений постоянному току, AB—калиброванная проволока (безиндукционное сопротивление), r—переменное сопротивление, E—генератор переменного тока, T—телефон. Изменение звука в телефоне достигается одновременным изменением положения ползушки D и изменением сопротивления r. При отсутствии звука в телефоне и в том случае, если в приборе, которым измеряются L_x и R_x, нет потерь на токи Фуко и гистерезис, имеем ($i=\sqrt{-1}$):

$$(R_x + r + i\omega L_x)b = a(R_n + i\omega L_n),$$

или

$$R_x + r + i\omega L_x = \frac{a}{b}(R_n + i\omega L_n),$$

откуда условия равновесия моста будут:

$$R_x = R_n\frac{a}{b} - r \quad \text{и} \quad L_x = L_n\frac{a}{b}.$$

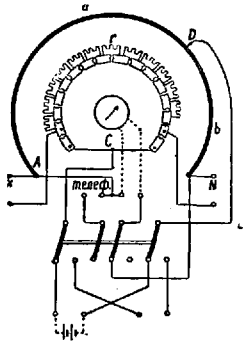
При наличии же потерь на токи Фуко и гистерезис имеем:

$$R'_x = R_n\frac{a}{b} - r \quad \text{и} \quad L'_x = L_n\frac{a}{b}.$$

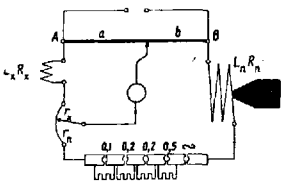
Теперь R'_x не является омическим сопротивлением постоянному току, а больше его, т. е. $R'_x > R_x$. Для определения увеличения омического сопротивления заменяем генератор переменного тока генератором постоянного тока и телефон—гальванометром; затем подбираем r_1, не изменяя места ползушки, так, чтобы в телефоне был достигнут минимум тока; тогда имеем:

$\frac{R_x+r_1}{R_n} = \frac{a}{b}$ и $R'_x+r=R_x+r_1$, т. е. $R'_x - R_x = r_1 - r$.

Чем ближе величины L_x и L_n, а также R_x+r и R_n между собой, тем точнее работа моста; источником ошибок является самоиндукция (хотя и весьма незначительная) сопротивлений a, b и r. Кроме того на точности измерений сказывается емкость всей измерительной установки по отношению к земле. Практически осуществленная схема прибора показана на фиг. 7. К зажимам X присоединяют измеряемый прибор, к зажимам N—эталон. Источником постоянного тока служат два сухих элемента, а источником переменного



Фиг. 7.



Фиг. 8.

тока—зуммер или ламповый генератор, частоту которого можно изменять. В зависимости от того, присоединяется ли r к R_x или R_n, величина R_x определяется по двум различным формулам. Если r присоединено к R_x, то по ф-ле:

$$R_x = R_n\frac{a}{b} - r;$$

если же r присоединено к R_n, то по ф-ле:

$$R_x = \frac{a}{b}(R_n + r).$$

Что касается L_x, то в обоих случаях

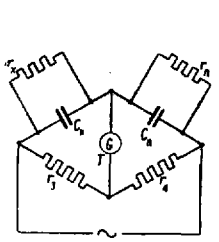
$$L_x = \frac{a}{b}L_n.$$

Этим мостом можно измерять самоиндукцию в пределах от 5 до 0,001 H. Для измерений меньших величин самоиндукций применяется специальный мост, схема к-рого изображена на фиг. 8. Он отличается от описанного выше только тем, что самоиндукция эталона может плавно изменяться, что достигается вдвиганием железного сердечника (специальный сплав, практически не вызы-

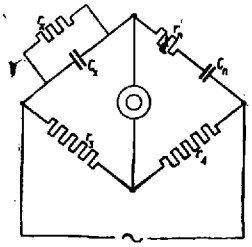
вающий потерь на токи Фуко). Сопротивление r представляет собой проволоку и изменяется в зависимости от положения ползушки. Отсутствие звука в телефоне обусловливает ур-ие:

$$\frac{L_x}{L_n}=\frac{R_x+r_x}{R_n+r+r_n}=\frac{a}{b}.$$

Измерение проводимости и угла диэлектрических потерь при посредстве М. В. по методу, идентичному с описанным выше способом измерения электрических сопротивлений, производится по схеме фиг. 9. Вследствие диэлектрич. потерь



Фиг. 9.



Фиг. 10.

в конденсаторе емкостью C_x сила тока опережает напряжение не на 90°, а на $90°-\delta_x$; при этом $\operatorname{tg}\delta_x=\frac{A_x}{\omega C_x}$, где A_x — проводимость изоляции — может быть представлена как обратная величина сопротивления r_x, включенного параллельно конденсатору. Поэтому для измерения проводимости изоляции необходимо параллельно эталону емкости C_n включить эталон сопротивления r_n; тогда при отсутствии звуков в телефоне (вернее при минимуме звуков) получим:

$$r_x=\frac{r_3}{r_4}r_n;\quad C_x=\frac{r_4}{r_3}C_n;\quad A_x=\frac{r_4}{r_3 r_n}.$$

Поэтому

$$\operatorname{tg}\delta_x=\operatorname{tg}\delta_n=\frac{1}{\omega C_n r_n}.$$

Эта схема требует очень больших величин сопротивления для r_n (т. к. практически δ невелика); поэтому целесообразнее сопротивление r_n включать последовательно с C_n (фиг. 10). Тогда

$$\frac{r_x}{1+i\omega r_x C_x}=\frac{r_3}{r_4}\left(r'_n-\frac{i}{\omega C_n}\right);$$

$$A_x=\frac{\omega^2 C_n^2 r'_n}{\frac{r_3}{r_4}\left[1+\omega^2 C_n^2 r'^2_n\right]}.$$

При $r_3=r_4$, и пренебрегая величиной $\omega^2C_n^2r'^2_n$, будем иметь:

$$C_x=C_n=C \text{ и } A_x=\omega^2C^2r'_n.$$

Так как $\operatorname{tg}\delta_x=\omega C_x r'_n$, то и $\operatorname{tg}\delta_x=\frac{1}{\omega}\cdot\frac{A_x}{C_x}$.

В качестве эталона применяется слюдяной конденсатор, параллельно к-рому для точной регулировки включается воздушный конденсатор, — последний диэлектрических потерь не имеет, слюдяной же обладает небольшим углом диэлектрич. потерь; поэтому при измерениях надо вводить поправку. Пусть C_0 — показание слюдяного конденсатора, C'_0 — воздушного (т. е. $C_n=C_0+C'_0$); если δ_0 — угол диэлектрических потерь слюдяного конденсатора, то этот последний м. б. заменен конденсатором C_0 без потерь, если последовательно с ним включить сопротивление $r_0=\frac{\operatorname{tg}\delta_0}{\omega C_0}$ (фиг. 11). Кажущееся сопротивление z между точками a и b равно

$$z=r'_n+\frac{1+i\omega C_0 r_0}{i\omega C_n-\omega^2 C_0 C'_0 r_0}.$$

С большой степенью точности можно написать:

$$z=r'_n+\frac{1+i\omega C_0 r_0}{i\omega C_n}=r'_n+r_0\frac{C_0}{C_n}-i\frac{1}{\omega C_n}\cong$$

$$\cong r'_n+r_0-i\frac{1}{\omega C_n}.$$

Таким образом

$$A_x=\frac{\omega^2 C_n^2(r'_n+r_0)}{\frac{r_3}{r_4}\left[1+\omega^2C_n^2(r'_n+r_0)^2\right]}$$

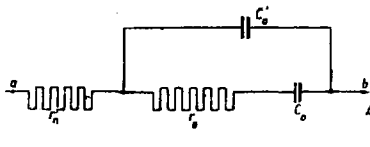
и

$$C_x=\frac{C_n}{\frac{r_2}{r_4}\left[1+\omega^2C_n^2(r'_n+r_0)^2\right]}.$$

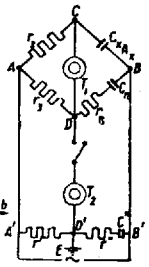
Если $r_3=r_4$, то

$$C_x=C_n=C \text{ и } A_x=\omega^2C_n^2\left(r'_n+r_0\right).$$

Зависимость между сопротивлениями в М. В. только тогда справедлива, если мост кроме четырех сторон и двух диагоналей не имеет никаких дополнительных ответвлений. При измерениях переменным током эти дополнительные ответвления всегда могут иметь место, так как части прибора по отношению к земле имеют емкость. Необходимо не только уменьшить эту емкость, но сделать так, чтобы она была постоянной величиной. Для достижения последнего требования отдельные части схемы д. б. экранированы, для чего их помещают в металлические заземленные чехлы. Для устранения влияния емкости Вагнером предложена следующая схема, известная под названием моста Вагнера (фиг. 12). Параллельно главному мосту $ACBD$ включен



Фиг. 11.



Фиг. 12.

дополнительный заземленный мостик $A'D'B'$. Сначала происходит приближенная настройка главного моста при помощи телефона T_1 при замкнутом контакте у точки D; затем регулировкой как главного, так и дополнительного моста добиваются отсутствия звука в телефонах T_1 и T_2. В этом случае диагональ CD имеет потенциал земли; после этого T_2 выключается (у точки D), и главный мост настраивается окончательно. При помощи моста Вагнера возможно измерение частичных емкостей жил кабеля; действительно, присоединив к зажимам C и B две жилы кабеля и соединив все остальные между собой и землей, мы измерим только емкость между этими жилами, так как емкости по отношению к земле вследствие равенства потенциалов (земли и моста) не сказываются при измерении. Разновидностью М. В. является также мост Кюпфмюллера и Томаса, который применяется при производстве измерений емкостей и проводимости изоляции в кабелях.

Двойной мостик Томсона (фиг. 13) служит для измерения весьма малых сопротивлений. Весьма малое в виде проволоки сопротивление x и калиброванная в десятичных долях Ω проволока S соединены между собой через посредство толстой медной полосы M. Подвижные контакты *1*, *2* и *4* и постоянный контакт *3* служат для точного отсчета длины проволоки x и сопротивления проволоки S. Зеркальный гальванометр G включен между точками *5* и *6*. Реостаты r_1, r_2, r_3, r_4 подбирают таким образом, чтобы $\frac{r_1}{r_2}=\frac{r_3}{r_4}=p$. Замыкают ключ K_2, потом K_1 и перемещают контакт *4* до тех пор, пока стрелка гальванометра G не остановится на нуле. Тогда потенциалы точек *5* и *6* равны и $i_1=i_2$; $i_3=i_4$; $i_x=i_s$. Кроме того

$$\frac{V_4-V_6}{r_4}=\frac{V_6-V_1}{r_3};\quad \frac{V_3-V_5}{r_2}=\frac{V_5-V_2}{r_1};$$

отсюда

$$\frac{V_6-V_1}{V_4-V_6}=\frac{r_3}{r_4}=p;\quad \frac{V_5-V_2}{V_3-V_5}=\frac{r_1}{r_2}=p;$$

$$\frac{V_6-V_1}{V_4-V_6}=\frac{V_5-V_2}{V_3-V_5}=p.$$

Из этой пропорции имеем:

$$\frac{V_6-V_1-V_5+V_2}{V_4-V_6-V_3+V_5}=\frac{V_2-V_1}{V_4-V_3}=p.$$

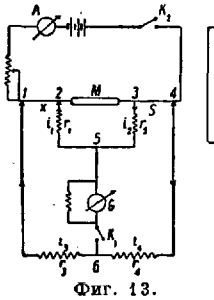
Так как

$$\frac{V_4-V_3}{S}=\frac{V_2-V_1}{x}\quad\text{и}\quad\frac{V_2-V_1}{V_4-V_3}=\frac{x}{S},$$

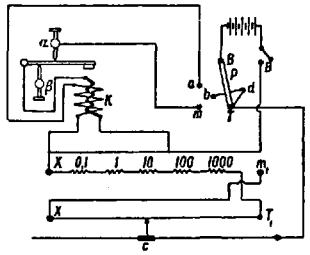
то

$$p=\frac{x}{S},\ \text{или}\ x=S\cdot p.$$

Мостик Кольрауша служит для измерений сопротивления как жидкостей, так и металлов, причем в последнем случае проводники м. б. с самоиндукцией или без нее. Когда рукоятка P (фиг. 14) установлена на контакт T, мостик предназначен для измерения сопротивления металлов; в этом случае пользуются зеркальным гальванометром и шунтом, к-рый приключается к зажимам m_1 и T_1, испытуемый же проводник присоединяется к зажимам X и X. Катушка Румкорфа K выключена из схемы. Если же переключатель P установлен на контакт m, то его поперечная пластинка соединяет контакты a и b, и мостиком можно пользоваться для измерения сопротивления жидкостей, включаемых также между зажимами X и X. В этом случае между зажимами m_1 и T_1 включают телефон. Винты α и β служат для регулирования прерывателя тока катушки Румкорфа. Контакт c скользит по проволоке XT_1. Сопротивления в 0,1, 1, 10, 100 и 1 000 Ω включают при помощи штепселей. К контактам B и B присоединяют батарею элементов.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

Лит.: Линкер А., Электрич. измерения, пер. с нем., Москва, 1927; Кампе Л., Электрич. измерения телеграфных и телефонных линий, Москва, 1926; Skirl W., Elektrische Messungen, Siemens Handbücher, hrsg. v. Siemens u. Halske A.-G., B. 4, B.—Lpz., 1928; Kaspareck P., Neuere Geräte für Wechselstrommessungen, «Telegraphen- u. Fernsprechtechnik», Berlin, 1923, Jg. 12; Wagner, «ETZ», 1912, Jg. 33; Küpfmüller und Thomas, «ETZ», 1922, Jg. 43; Klein M., Kabeltechnik, B., 1929; Keinath G., Die Technik elektrischer Messgeräte, 3 Auflage, B. 1, Mch.—Berlin, 1928; Hund A., Hochfrequenzmesstechnik, 2 Aufl., B., 1928; Drysdall C. and Jolley A., Electrical Measuring Instruments, v. 1—2, London, 1924; Nottag W., The Calculation a. Measurement of Inductance a. Capacity, 2 edition, London, 1925.

М. Юрьев.

МОСТОВОЙ КИРПИЧ, см. *Клинкер*.

МОСТОВЫЕ, устарелый термин, обозначающий такую одежду дороги, к-рая в отличие от щебеночной одежды (шоссе) устраивается из более крупных, чем щебень, материалов (каменные, деревянные и другие бруски и шашки, камни неправильной формы и пр.), укладываемых на дорогу не россыпью, а отдельными штуками (мощение). В настоящее время этот термин постепенно вытесняется термином дорога (асфальтовая дорога, бетонная дорога, клинкерная дорога и др.) или одежда.

Назначение одежды—воспринимать и передавать на основание и земляное полотно усилия, которые развиваются в ней при движении повозок и автомобилей с предельными скоростями и нагрузками. Примерные высшие предельные нагрузки и скорости автомобилей для отдельных типов дорожных одежд приведены в табл. 1. Для одежд применяют материалы, отличающиеся большой прочностью и равномерным износом: естественные каменные породы, искусственные камни (клинкер и др.), бетон, железобетон, асфальтобетон и др. Одежда обычно располагается на т. н. основании, в качестве к-рого может служить песчаный или гравийный слой, каменная мостовая, старое шоссе, бетон и др. Толщина одежды (или основания) д. б. такова, чтобы удельное давление на основание (или земляное полотно) от проезжающих автомобилей или повозок не превосходило допускаемого сопротивления материала основания (или грунта земляного полотна). Принимают, что давление от коле-

Табл. 1.—Технические нормы эксплоатации, предъявляемые различным типам дорог.

Тип одежды	Максим. вес автом. брутто в m	Максим. скорость легков. авт. в км/ч	Напряженность дороги брутто в m*
Брусчатая М. на бетонном основании	15	>100	>1 000
Бетонная дорога	15	>100	>1 000
Асфальтобетон, тармакадам, песчаный асфальт	15	>100	>1 000
Брусчатая М на песчаном основании	15	60—100	500—1 000
Клинкерная М.	15	60—100	500—1 000
Булыжная М.	15	60—100	500—1 000

* Количество грузов, перевозимых по дороге за сутки.

са в одежде и основании передается под некоторым углом α (фиг. 1), т. е. давление распространяется внутри конуса, угол при вершине которого равен 2α. Значение угла α для щебеночной одежды принимают равным 45°. Иногда это положение формулируется так: давление на основание равно грузу, деленному на квадрат удвоенной толщины одежды. В шоссейной практике считают, что давление от колеса передается равномерно в верхней плоскости одежды на прямоугольник bd, где b—ширина обода колеса, d—длина сминаемой колесом площадки, причем обычно d = =5—10 *см*. В нижней плоскости одежды давление действует на прямоугольник, стороны к-рого $x = b + ch$ и $x_1 = d + ch$. Здесь h—толщина одежды, c—некоторый коэф., равный напр. для укатанного щебня примерно 3, для неукатанного 1, для песчаного слоя 2,4. Практически толщина щебеночной и каменной одежды принимается равной в среднем 175 *мм*. При современных условиях движения (тяжелые быстроходные автомобили) роли одежды и основания распределяются т. о., что одежда должна воспринимать и оказывать соответствующее сопротивление горизонтальным силам, возникающим в точках соприкосновения движущих колес автомобиля с поверхностью дороги; основание должно воспринимать и оказывать соответствующее сопротивление вертикальным силам. При выборе конструкций и материалов для одежды и основания руководствуются соображениями об условиях их работы: одежда подвергается истиранию, а потому она д. б. из твердых или эластичных материалов; основание подвергается сжатию, а потому оно д. б. прочной конструкции.

Геометрич. формы поперечного профиля М. практически допускаются следующие: параболическая, очерченная по дуге круга и прямолинейная двускатная с округлением гребня. Очертание поперечного профиля д. б. выпуклым и симметричным, за исключением случаев устройства одежды городских улиц, где профиль м. б. вогнутым или несимметричным. Поперечный уклон М. выбирается в зависимости от рода материала одежды (условия стока воды) и от продольного уклона дороги (условия движения); поперечные и продольные уклоны, принятые в СССР, приведены в табл. 2.

Табл. 2.—Предельные уклоны для мостовых в СССР.

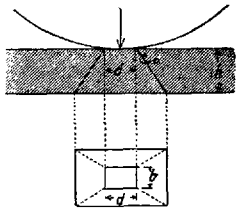
Тип одежды	Продольный уклон	Поперечный уклон	
	норм. (руководящий)	наименьший	наибольший
Шоссе	0,04—0,07	0,030	0,050
Булыжная или из рваного камня	0,04—0,06	0,030	0,050
Брусчатая	0,03—0,04	0,025	0,035
Клинкерная	0,04—0,05	0,015	0,025
Торцовая	0,02—0,03	0,020	0,030
Асфальтовая	0,02—0,03	0,015	0,020
Бетонная и железобетонная	0,04—0,06	0,010	0,020

Чем больше продольный уклон дороги, тем меньший может быть придан ей поперечный уклон. В табл. 3 приведена зависимость поперечного уклона от продольного для различного рода одежд (по проекту Государственного института сооружений ВСНХ).

Табл. 3.—Поперечные уклоны в зависимости от величины продольных.

Род одежды	Продольные уклоны		
	0—0,01	0,01—0,03	0,03 и выше
Шоссе	0,05	0,04	0,03
Булыжная	0,05	0,04	0,03
Брусчатая	0,035	0,030	0,025
Торцовая	0,030	0,025	0,020
Клинкерная	0,025	0,020	0,015
Асфальтовая	0,020	0,015	0,010

Ширина проезжей части М. технически определяется необходимостью пропустить по дороге определенное число экипажей одновременно (2, 3 и более линий движения), причем в основание расчета принимается ширина типичного экипажа, обращающегося на данной дороге. К этому добавляют полосы для велосипедистов, пешеходов, трамваев, стоянки автомобилей и пр. Для улиц ширина М. рассчитывается кроме того по условиям освещения, посадке древесных насаждений, объему воздуха и пр. Ширина существующих М. колеблется от 2 до 300 *м*. В Париже например имеется М. шириной 1,7 *м*; в Вашингтоне—шириной до 300 *м*. Можно принять как правило, что ширина городского проезда должна быть не менее 6 *м*, и таким образом иметь по крайней мере две линии движения, по 3 *м* каждая. Для дорог междугородных проект классификации дорог по Цудортрансу НКПС устанавливает следующие нормальные ширины (в *м*) проезжей части (шоссированной или мощеной) в зависимости от топографич. условий и класса дорог по значению (табл. 4).



Фиг. 1.

Табл. 4.—Ширина проезжей части дорог различных классов (в *м*).

Класс дорог	Местность		
	равнин. и слабо холмистая	сильно холмистая и гористая	горная
Дороги усиленного типа	9; 7,5; 5,5	7,5; 5,5	7,5; 5,5
Дороги нормального типа	5,5; 4,5; 3,5	5,5; 4,5; 3,5	5,5; 4,5; 3,5

Материал для мощения должен отвечать определенным технич. условиям. Каменные материалы должны испытываться и проверяться в отношении: а) удельн. веса, б) однородности и мелкозернистости структуры, в) сопротивления сжатию, г) сопротивления истиранию, д) водопоглощения, е) морозостойкости, ж) шлифования (отсутствие скользкости), з) удобства и легкости обработки. Таким требованиям в большинстве случаев удовлетворяют изверженные кристаллич. породы, как то: граниты, порфиры, базальты, диабазы и др., а также наиболее прочные осадочные породы: кварциты и песчаники. Известняки и другие слабые породы для устройства дорог в настоящее время избегают применять. Сопротив-

ление (в *кг/см²*) сжатию, уд. в. и твердость некоторых употребляемых в дорожном строительстве каменных пород следующие:

Порода	Уд. вес	Твердость по Мосу	Сопрот. сжатию
Базальт . . .	2,8—3,3	6—8	3 000—3 500
Гранит	2,5—3,0	6—8	1 600—2 000
Диабаз	2,7—3,0	5—8	1 800—2 000
Сиенит	2,5—3,0	7—8	1 350—1 500
Порфир . . .	2,4—2,8	6—8	1 700—1 900
Песчаник . .	1,9—2,9	4—7	850—950
Известняк . .	1,5—3,0	3—8	750—850

Испытание материала на истирание производится или на вращающихся кругах истирания (системы Боме, Баушингера, Дорри и др.) или на пескоструйном аппарате Гари. Испытывают на кругах истирания при средней скорости рабочей поверхности в 1 *м/сек*; потери определяются после прохождения пути истирания в 1 *км* и выражаются в *см³* или в *г* на 1 *см²* истираемой поверхности. Эти потери (называемые коэф-тами истирания) для главнейших пород заключаются в следующих пределах: для гранита 0,12—0,15; порфира 0,15—0,22; базальта 0,10—0,19; диабаза 0,13—0,17; песчаника 0,32—0,41 *г/см²*.

В США принято делать испытания преимущественно на круге Дорри (Dorry). Коэф. твердости или сопротивляемости истиранию

$$H = 20 - {}^1/_3 W,$$

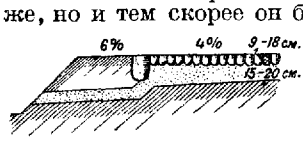
где W—средняя потеря в весе образца в *г* на 1 000 оборотов круга. Данные испытаний на истирание главных каменных пород, выраженные в коэф. сопротивления истиранию или в коэф. твердости, приведены в табл. 5.

Табл. 5.—Данные испытаний на истирание каменных пород.

Каменные породы	Blanchard	Harger and Bonney	Office of Public Roods U. S. A. (Bull. № 31)
Базальт	5,7—19,3	—	15,6—17,1
Гранит	13,6—19,7	17,9—18,9	18,1
Диабаз	10,7—19,4	—	17,5—18,2
Известняк } Доломит } . .	0,0—19,2	13,1—16,8	12,7—14,8
Кварцит	15,3—19,7	18,3—18,9	18,4
Песчаник . . .	0,0—19,5	5,1—18,5	17,4
Сиенит	16,4—19,2	6,7—14,5	18,4

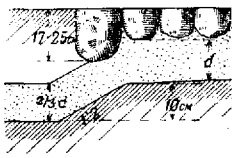
Породы твердые имеют коэф. твердости > 17, средние 14—17, слабые < 14.

Чем меньше истираемость, тем камень тверже, но и тем скорее он будет шлифоваться, вследствие чего М. делается скользкой. Валунный камень, из которого устраиваются булыжные М., должен быть твердых пород; слоистый, хрупкий, дресвяный, раковистый и выветрившийся камень употребляться не должен. Валунный камень применяется в двух видах: в виде *кругляка*, с частично околотой поверхностью, и в виде *шашки*, выработанной из валуна-сырца колкой. Оба вида употребляются в дело после сортировки по размерам и качеству.

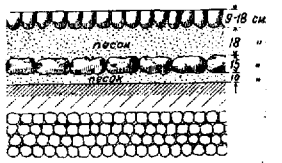


Фиг. 2.

Булыжная М. устраивается преимущественно на песчаном основании; ее преимущества по сравнению с другими каменными одеждами—меньшая стоимость устройства и ремонта, но для проезда вследствие своей неровной поверхности она представляет большие неудобства. Булыжную М. устраивают следующим образом (фиг. 2). По спланированному и уплотненному земляному полотну насыпают песок слоем 15—20 *см*, а в случае слабых грунтов—до 30 *см*. По краю М. устанавливают по шнуру в один ряд т. н. *версту* из крупных булыг, размерами 17—25 *см* (фиг. 3). Минимальный продольный уклон лотков булыжной мостовой 0,002. Мощение производится по всей ширине сразу; камни сажаются тычком, насухо, без прижима к ним песка, без навала, с перевязкой швов и так плотно, чтобы промежутки между камнями были минимальными. Размеры булыжного камня: высота 9—18 *см*, в поперечнике 6—9 *см*. Размеры шашек 1-го сорта: высота 13—18 *см*, по лицу мощения 7—15 *см*; 2-го сорта: высота 9—13 *см*, по лицу мощения не менее 6 *см*. Чем тяжелее движение, тем крупнее должен быть камень. До утрамбовки М. расщебенивают хорошей щебенкой (ок. 25 *мм*). Для равномерной осадки М. утрамбовывают ручными трамбовками, весом 25—30 *кг*, затем вновь засыпают



Фиг. 3.



Фиг. 4.

мелкой щебенкой, разметая последнюю метлою в швы, вновь трамбуют, а иногда и укатывают катком весом 6—8 *т*. Готовую булыжную М. для заполнения швов засыпают слоем песка в объеме не более 0,015 *м³* на 1 *м²*. Засыпанный песок поливают водою; по истечении 7 дней излишек песка удаляют. При тяжелом грузовом движении или при плохом грунте М. устраивают в два слоя (фиг. 4). На слой песка в 10—12 *см* укладывают плашмя крупные камни, без расщебенки, трамбуют тяжелыми трамбовками, затем насыпают второй слой песка в 18 *см* и по последнему устраивают М. вышеописанным порядком.

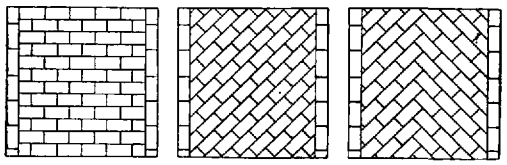
Брусчатая М.—наиболее прочный, хотя и дорогой вид каменной одежды. Она устраивается из брусков твердых каменных пород параллелепипедальной формы с несколько скошенными боковыми гранями. Наиболее распространенные и отвечающие климатич. и грунтовым условиям средней полосы СССР, а также условиям движения, сорта брусчатки приведены ниже в табл. 6. Боковые поверхности брусчатки имеют скос от вертикали книзу—в нормальной брусчатке не более 1 *см*, а в облегченной—0,5 *см*. Бруски укладываются правильными рядами, длинной стороной перпендикулярно к оси дороги, с перевязкою швов, или под углом 45° (фиг. 5). Для образования лотков брусчатку укладывают в 2—3 ряда, длинной стороной параллельно оси дороги; лотковые ряды укладывают ниже поверхности М. на

Табл. 6. — Размеры брусчаток, наиболее распространенных в СССР (в *см*).

Сорта брусчатки	Высота	Верхняя лицевая грань	
		Длина	Ширина
Нормальная . .	15—16	15—25	12—15
Облегченная . .	10—14	15—25	8—14
Клейнпфластер (мозаика)	8—10	Площадь лица 64—100 $см^2$	

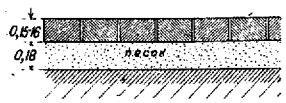
В Москве принят еще один сорт брусчатки—брюкенштейн — размерами: длина 15—25 *см*, ширина 8—13 *см* и высота 10—11 *см*.

1 *см*. Продольные и поперечные швы в брусчатой М. не д. б. шире 0,8—1 *см*. После укладки М. трамбуют трамбовками весом в



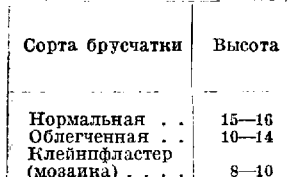
Фиг. 5.

30 *кг* и 120—125 *кг* (для 4 человек), поливают водою и посыпают два раза песком, излишек которого после 15 дней сметают. Брусчатая М. устраивается на основаниях: 1) песчаном, толщиною слоя не менее 18 *см* (фиг. 6), 2) щебеночном, покрытом слоем песка, 3) каменном (пакеляж), покрытом слоем щебня и песка (фиг. 7), и 4) бетонном толщиной 15—25 *см* с тонким (2—5 *см*) слоем песка поверху (фиг. 8). Песчаное и щебеночное основания не удовлетворяют санитарным требованиям, т. к. пропитываются грязью, проникающей в швы мостовой. Наиболее прочным и совершенным является бетонное основание. Швы брусчатой М. заполняют: 1) чистым кварцевым песком, 2) цементн. раствором 1 : 10, во всю высоту шва или на глубину около 8 *см*, с заполнением нижней части шва песком, 3) битуминозными материалами на глубину ок. 8 *см*.

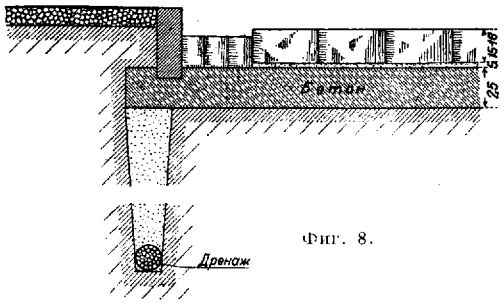


Фиг. 6.

Мозаичная М. (клейнпфластер) является разновидностью брусчатой М. Особенностью мозаичной М. является сравнительно мелкий, но околотый в б. или м. правильные кубики камень указанных в табл. 6 размеров. Основанием для мозаичной М. может служить: 1) слой песка толщиной ≤ 15 *см*, 2) щебеночное основание или старое шоссе, 3) каменное (пакеляж) толщиною 15—25 *см*, к-рое покрывается щебнем и затем песком на высоту 2—5 *см*, 4) бетонное толщиною 15 *см*, с песчаным прослойком в 3—4 *см*. Камни тщательно подбирают по размерам (более крупные к лоткам) и укладывают или веерообразно (фиг. 9) или по дугам полуокружностей с обращением выпуклости полуокружности по направлению движения (фиг. 10). Толщина швов не более 1 *см*. М. тщательно трамбуют ручными



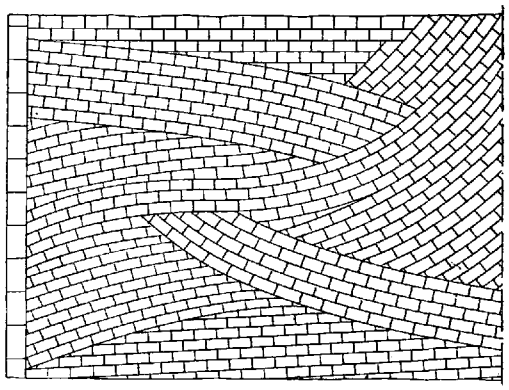
Фиг. 7.



Фиг. 8.

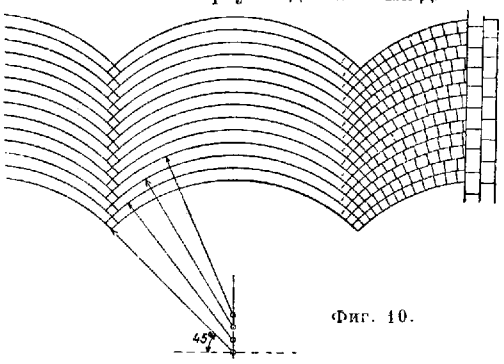
трамбовками, обильно поливают водою и засыпают слоем песка в 1—2 *см*. Излишек песка после 7—10 дней удаляют. Швы между камнями заполняют песком, цементным раствором 1 : 10 или асфальтом.

Клинкерная М. принадлежит к типам дорог усовершенствованных и сравнительно дорогих. Основаниями для клинкерной М. могут служить: а) бетон 1 : 3 : 5—1 : 5 : 7 толщиною 10—15 *см* с песчаным прослойком в 2,5—5,0 *см*; б) щебеночное



Фиг. 9.

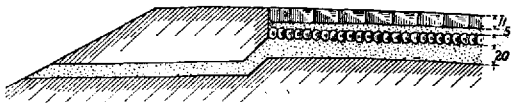
(старое или новое) шоссе или М. толщиною 10—15 *см* на песчаном слое толщиной 15—20 *см* и с песчаным прослойком между шоссе и клинкером (фиг. 11); в) слой песка толщ. 20—30 *см*. Клинкер укладывают на длинное



Фиг. 10.

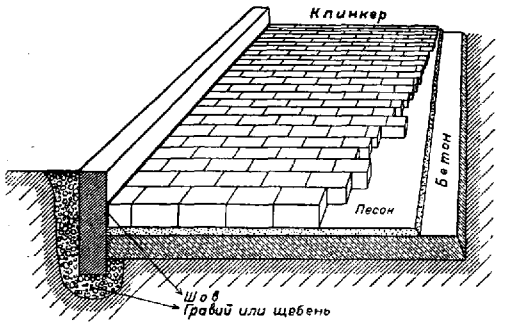
ребро или (фиг. 12) перпендикулярными к оси дороги правильными рядами или диагональными под углом в 45° рядами, а также в елку—поперечную, вперевязку, как

показано на фиг. 13, или продольную. По краям М. укладывают два ряда клинкера, длинным ребром параллельно оси дороги, и затем бордюры из бетона, естественного камня или двух рядов клинкера. Уплотнение производят легким катком (3—5 *т*).



Фиг. 11.

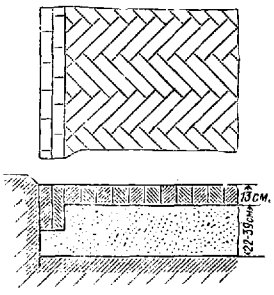
М. засыпают сверху слоем (2 *см*) песка, который загоняют метлами в швы, поливая водою. Применяется также заполнение швов битуминозными веществами и цементным раствором. Клинкерную М. в Америке строят и по типу монолита, для чего вместо песчаного прослойка наносят цементный раствор 1 : 4 (в сухом либо в приготовленном виде)



Фиг. 12.

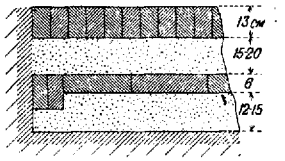
слоем в 4 *см* и после укладки клинкера М. поливают водою для схватывания. Клинкерную мостовую устраивают иногда в 2 слоя; нижний ряд клинкера укладывают плашмя на песчаный слой, насыпая затем второй слой песка для верхнего ряда клинкера (фиг. 14). К клинкерным М. относятся керамиковые М. Керамиковые бруски обладают большим сопротивлением износу и сжатию. В последнее время в Германии вместо естественного камня применяют камни из литого *доменного шлака* (см.).

Деревянная (торцовая) М. устраивается из торцов или шашек, к-рые располагают на М. волокнами вертикально в целях уменьшения износа. Материалом для выделки торцов служит гл. обр. мелкослойная сосна, лиственница, реже ель, кедр, кипарис, бук, дуб и некоторые деревья тропич. стран, например евкалипт, ярра, карри и др. Сопротивление сжатию дерева вдоль волокон д. б. не менее 300 *кг/см*². В целях предохранения от гниения торцы пропитываются противогнилостными веществами, напр. креозотом. Употребительными являются торцы параллелепипедальной или шестигранной



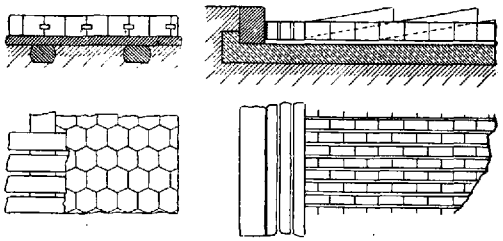
Фиг. 13.

формы следующих размеров: первые имеют ширину 9—10 *см*, длину 13—25 *см* и высоту 10—15 *см*, вторые—высоту 12—18 *см*, диаметр 20—26 *см*. Основанием для торцовой М. служит бетон 1 : 4 : 6 толщиною 15—20 *см*. Основание покрывают цементной смазкой толщиной ок. 2 *см* с оставлением в ней желобков для стока воды. Торцы шестигранной формы укладывают вплотную друг к другу и соединяют металлич. шпильками. При прямоугольной форме торцы укладывают правильными рядами нормально к оси дороги, с перевязкой швов. Швы между рядами устраивают в 6—8 *мм*; в поперечном направлении торцы укладывают вплотную друг к другу (фиг. 15).



Фиг. 14.

Швы заливают цементным раствором 1 : 2. асфальтом или смесью вара с антраценовым маслом. Торцы укладывают на бетонное основание с прокладкой промежуточного слоя: 1) из песка толщиною 5 *см* и 2) из асфальта толщиною 1—3 *см*, причем торцы укладывают в асфальт пока он находится еще в мягком состоянии. Для образования лотка устанавливаются 2—3 ряда торцов на 1 *см* ниже остальных, параллельно оси улицы. Между торцами и бордюром тротуара оставляют зазор шириною 4—6 *см*, к-рый заполняется сухим песком. Эти зазоры допускают расширение рядов торцов при разбухании их от сырости. По окончании кладки торцов М. покрываются слоем мелкого щебня или гравия толщиной до 3 *см*, который постоянно разметают для образования равномерной корки. Торцовая М. считается лучшим типом одежды; продолжительность ее службы на улицах Лондона и Парижа достигает 12 лет; недостатками ее являются: негигиеничность (вследствие загрязнения),



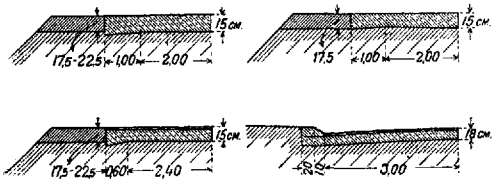
Фиг. 15.

скользкость при гололедице и дожде и наконец способность рассыхаться в сухую погоду и разбухать в сырую.

Резиновые, или каучуковые, М. применяются с конца прошлого века в Англии, Америке и Австралии. Значительным препятствием распространению каучуковых М. служит их дороговизна; основные преимущества их: долговечность (20—50 лет), большое сопротивление деформированию, упругость, водонепроницаемость, легкость очистки без промывания, отсутствие скользкости при дожде без посыпки песком и бесшумность. Мощение производится при помощи шашек или кубиков по подготовленному

основанию. Поперечный профиль имеет стрелу подъема на оси в $^1/_{24}$ ширины проезжей части дороги; для большей прочности применяют Т-образные железные полосы.

Бетонные и железобетонные М. (бетонные дороги) за границей, особенно в США, получили широкое распространение. Их преимущества: твердость, прочность, ровная и гладкая поверхность, водонепроницаемость и малое сопротивление движению. Бетонные дороги состоят из слоя бетона толщиной 15—30 *см*; в тех случаях когда они армированы металлич. сетками или отдельными стержнями, они получают название железобетонных. Особенностью устройства бетонных дорог являются швы расширения и сжатия, устраиваемые в продольном и поперечном направлениях дороги через каждые 10—40 *м*, а на городских улицах и вдоль краев дороги в местах расположения бордюров. Толщина бетонной плиты по краям делается обычно больше, чем посередине (фиг. 16). Применяемые для устройства бетонной одежды—щебень, гравий и песок д. б. однородны по качеству и размерам. Величина щебенок не должна превосходить 38—40 *мм*. Пропорции составных частей бетона—1 : 2 : 4, или 1 : 2 : 3,5, или



Фиг. 16.

1 : 2,5 : 4 и т. п. Устройство бетонных М. за границей механизировано: по краям дороги укладывают металлич. формы, служащие вместе с тем рельсами, по которым передвигается т. н. финишер—машина, разравнивающая, уплотняющая и выглаживающая бетон. Чтобы дать бетону схватиться, его покрывают на 21 день брезентами, землей или травой и смачивают водою. Бетонный слой в большинстве случаев укладывают непосредственно на земляное полотно, уплотненное щебнем и песком и укатанное катком в 10 *т*. Основанием бетонной М. может служить также старое шоссе. Приготовление и укладка бетона на место производится обычно машиною типа бетономешалок. Для увеличения прочности и воспрепятствования образованию трещин бетон армируют. Вес арматуры составляет от 3 до 15 *кг* на *м*² дороги. Арматуру обычно помещают или в верхней части плиты (на 5 *см* от поверхности) или в нижней части ее. В швах расширения заделывают соединительные стержни, один конец к-рых заделывают в одной плите, а другой оставляют свободным в другой плите. Швы расширения м. б. защищенные и незащищенные; они заполняются асфальтом, смолою, просмолен. бумагою, асфальтированным войлоком или деревом мягких пород; в защищенных швах в верхней части укладывают фасонное железо. Швы расширения изготовляются шириною примерно в 5 *мм*. Железобетонные плиты рассчитывают по формуле Олдера:

$$d=\sqrt{\frac{3P}{R}},$$

где d—искомая толщина плиты, P—груз, передаваемый колесом, и R—допускаемое напряжение на растяжение. Если арматура проходит через поперечный шов и при нагрузке отгибаются сразу два угла, то

$$d=\sqrt{\frac{3P}{2R}};$$

если арматура проходит и через продольный шов и отгибаются сразу 4 угла, то

$$d=\sqrt{\frac{3P}{4R}}.$$

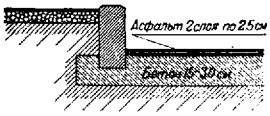
Асфальтовая М. устраивается на бетонном основании или на каменном (из битого кирпича, щебня, мелкого камня, шлака и др.), уплотненном укаткою тяжелым катком. Каменное основание обычно требует устройства промежуточного (между основанием и покрытием) связующего слоя из асфальтобетона. При бетонном основании связующий слой не является необходимым. Бортовые (бордюрные) камни укладывают из естественных каменных пород (фиг. 17) или из бетона; бордюрные камни из бетона иногда снабжают арматурой.

Трамбованный, или прессованный, асфальт является старейшим видом асфальтовой одежды. Материалом в этом случае служит естественный асфальтовый порошок или размолотая асфальтовая порода. Содержание чистого битума в асфальтовом порошке д. б. 6—14% по весу. На качество асфальта влияет тонкость помола; на сите с отверстиями в 2,5 *мм* не должно оставаться никакого остатка. Содержание в асфальте летучих масел д. б. минимальным; при нагревании сухого порошка в течение 6 ч. до 225° потеря в весе не должна превышать 2%; удельный вес трамбованного асфальта д. б. не менее 2,05. Нормальный срок службы покрытия из трамбованного асфальта толщиной в 5 *см* — около 20 лет. Скользкость М. из трамбованного асфальта—основной ее недостаток.

Литой асфальт представляет собою искусственную смесь асфальтового или минерального порошка с битумом. Покрытие из литого асфальта устраивают на бетонном или на щебеночном укатанном основании. Бетонное основание делают толщиной 15—20 *см*. При щебеночном основании устраивают связующий слой из асфальтобетона. Толщина слоя литого асфальта 4—5 *см*; при применении связующего слоя в 5 *см* толщина м. б. уменьшена до 2,5 *см*. Асфальтовая масса приготовляется путем смешения при постоянном нагревании: асфальтовой мастики, битума, песка и гравия в следующей весовой пропорции: 53,5% мастики асфальтовой, 4% битума (50% естественного и 50% нефтяного или 25% естественного и 75% нефтяного) и 42,5% гравия и песка. Практически для покрытия 1 *м*² асфальтовым слоем толщиною 2,5 *см* требуется при указанной пропорции: 36 *кг* мастики асфальтовой, 2,8 *кг* битума и 28 *кг* гравия и песка. Асфальтовую массу варят в особых котлах с ручным или механическим перемешиванием. Необходимо тщательное перемешивание массы; пере-

грев ее свыше 170—180° не допускается, так как он вызывает улетучивание битума и так. обр. ухудшает качество асфальта. Горячую асфальтовую массу укладывают на чистое и совершенно сухое основание в 2 слоя, толщиною по 2,5 *см* каждый, разглаживают деревянными вальками и затирают мелким сухим речным песком при помощи гладилки. На фиг. 17 показан поперечный разрез асфальтовой М.

Мостовая из асфальтовых плит применяется в тех случаях, когда устройство сплошного асфальтового покрытия является невозможным. Преимущество плит заключается в том, что их укладка возможна в любую погоду и производство работ проще, чем при устройстве покрытий из сплошной асфальтовой массы. Плиты изготовляют из асфальтового порошка или литого асфальта; размеры плит $10\times12 \div 25\times25$ *см*, толщина 4—5 *см*. Иногда вместо плит укладывают шашки из асфальтобетона. Основание для асфальтовых плит и шашек обычно применяют бетонное. Плиты и шашки укладываются на слой цементного раствора или асфальта толщиной 1 *см*, служащий как для связи плит между собою, так и для выравнивания их поверхности. Швы между плитами заполняются обычно асфальтовым порошком или цементом.



Фиг. 17.

Песчаный асфальт представляет собой смесь из песка, наполнителя (минерального или асфальтового порошка) и битума. Заменой 25—50% песка мелким щебнем размером от 2 до 12 *мм* получается асфальтовая масса, т. наз. топика (topeka), служащая переходной формой к асфальтобетону. Основание для песчаного асфальта делают бетонное, каменное или щебеночное; им могут служить также шоссе и М. Поверх каменной М. и шоссе укладывают связующий слой асфальтобетона. Вместо связующего слоя асфальтобетона укладывают песчаный асфальт с более крупным каменным материалом. Связующий слой после укатки имеет толщину 3,5—4 *см*. Асфальтобетонную массу нагревают до 170°, перемешивают, укладывают в горячем состоянии на сухое основание, разравнивают горячими граблями и укатывают тяжелым катком. Приготовление асфальтовой смеси производится при помощи специальных машин, имеющих сушильные барабаны (для нагревания минеральных материалов), весы (для дозировки составных частей смеси) и мешалки. Битум нагревают отдельно в котлах до 190—195°. Покрытие укатывается сначала ручным катком и затем катком в 7—8 *т*, предпочтительно с двумя вальцами (тандем).

Асфальтобетон является наиболее прочным типом покрытия городских улиц и пригородных дорог. Основными материалами в асфальтобетоне являются: щебень различной крупности, наполнитель (асфальтовый или минеральный порошок) и битум. В зависимости от размеров минеральных частиц асфальтобетон разделяется на тонкий (12—15 *мм*) и грубый (30—40 *мм*). Битум берется в количестве 5—11% по весу. Приготовление смеси и производство работ такое же, как при песчаном асфальте. Поверхность асфальтобетона при тощем составе подвергается обработке битумом при $t°$ 177° в количестве 3 *кг* на 1 *м*²; затем поверхность посыпается тонким слоем мелких высевок и прикатывается катком.

Дегтебетон (тармакадам)—покрытие из щебня, предварительно перемешанного с дегтем (черный щебень). Основное отличие от асфальтобетона заключается в том, что укладка тармакадамом может выполняться в холодном виде. Тармакадам приготовляется на з-дах или стационарных машинных установках, выдерживается в течение нескольких недель и на постройку доставляется и укладывается уже в холодном состоянии. Для улучшения вяжущих свойств к дегтю прибавляют 10—30% битума. Нормальный состав дегтебетона: 94% щебня, 6% дегтя, составленного из 20% битума и 80% каменноугольного дегтя, отогнанного до 250°. Покрытие делают толщиной 5—10 *см* и устраивают в два слоя. Рекомендуется поверхностная обработка тармакадама нефтяным битумом.

Лит.: Крынин Д. П., Курс дорожного дела, 2 изд., М.—Л., 1929; Дубелир Г., Городские улицы и мостовые, Киев, 1912; его же, Дорожное дело, М.—Л., 1928; Скрябин И. Е., Шоссейные и мощеные дороги, Москва, 1929; Гельфер А. А., Каменный материал на шоссе, СПБ, 1914; Бутескул В., Асфальтовые дороги и мостовые, Москва, 1928; Постройка усовершенствованных дорог по данным иняк. Клугге, М., 1930; Материалы по сооружению усовершенствованных типов дорог (по данным герм. практики), Ленинград, 1928; Временная инструкция по устройству усовершенствованных дорог, Ленинград, 1928; Schneider E., Moderner Strassenbau, 2 Aufl., Berlin, 1928; Funk L., Das Kunststrassenwesen, Halle a/S., 1928; Der neuzeitliche Strassenbau, hrsg. von H. Hentrich, B. 3—7, Halle a/S., 1927—28; Reiner W., Handbuch d. neuen Strassenbauwesens mit Bitumen, Teer u. Portlandzement als Bindmittel, Berlin, 1929; Stueck H. C., Taschenbuch f. d. gesammten Strassen- und Wegebau, Jg. 20, Berlin, 1929; Harger W., Rural Highway Pavements, New York, 1924; Agg T., The Construction of Roads a. Pavements, 2 edition, New York, 1924; Harger W. a. Bonney E., Handbook for Highway Engineers, v. 1—2, New York, 1927; Blanchard A., American Highway Engineers' Handbook, New York, 1919; «Good Roads», London, 1929, May. **П. Шестаков и Л. Гольденберг.**

МОСТОВЬЕ, всякая мягкая кожа, идущая преимущественно на верх обуви, выделанная методом растительного (красного) дубления или комбинированного (растительно-минерального); неотделанная, слегка прожированная или смазанная дегтем, спиленная по толщине кожи или строганая; разведенная вручную или на тянульной машине и отмятая на машине или на «беляках». Сырьем, дающим товар, который определяет самый характер понятия М., являются главн. обр. коровьи и бычковые шкуры (а также конские—«конское мостовье», «конина»). В прошлом веке под понятие «мостовье» подводился также и легкий подошвенный товар—«полувальное мостовье», но это понятие утратилось. Кроме коровьих, бычковых и конских шкур на выделку М. идут теперь в значительном количестве также шкуры свиней (в 1931 году предполагается до 1 млн. штук), шкуры морских зверей (тюлень) и в незначительном количестве дельфиньи, верблюжьи, ослиные и др. До последнего времени почти все М., идущее на обувь, раскраивалось на

части верха обуви (иногда даже в невысушенном виде) и в виде «кроя» подвергалось в «посадных мастерских» дальнейшей обработке—«посадке» и «отделке», после чего готовый крой поступал уже на обувную ф-ку. Часть М. отделывалась в целых кожах. М. из шкур рогатого скота, отделанное в целых кожах путем дополнительной жировки, отминки и отделки «лица» и «бахтармы» носит название «юфти». В настоящее время промышленность в целях лучшего использования площади кожи и избежания повторения ряда операций переходит на выделку всего обувного М. до «юфти» и раскрой уже готовой юфти, получая из нее сразу крой, идущий без дополнительных операций на обувную ф-ку. Исключение делается лишь для специальной вытяжной обуви, для которой операция посадки сохраняется. Помимо обуви М. лишь в небольших количествах идет на изготовление частей седел, упряжи, людского снаряжения (пояса, ремни, кобуры и др.) и галантерейных изделий (чемоданная кожа, мебельная и пр.). Особенностью мостовьевой кожи является способность ее принимать и сохранять в дальнейшем приданную ей во влажном состоянии форму (форму изгиба ноги), что позволяет изготовлять из нее обувь только с одним задним швом (вытяжная обувь). Малая возможность проникновения влаги через швы, в связи с тем, что сама мостовьевая кожа, способная поглотить значительное количество жира, гораздо меньше водопроницаема, чем другие виды кожи, делает обувь из М. (яловую обувь) наиболее водонепроницаемой. Мостовьевая кожа менее теплопроводна и площадь ее примерно в три раза меньше изменяет свой размер в зависимости от влажности воздуха (при изменении относительной влажности воздуха от 0 до 100% площадь мостовьевой кожи растет на 6,2%, в то время как хромовой на 18,2%, и дает те же значения сокращений площади при обратном процессе уменьшения влажности воздуха). Эти особенности М., в условиях подавляющей массы крестьянского населения, делают у нас яловую обувь наиболее излюбленным типом, в то время как в З. Европе и Америке она давно вытеснена более изящной и легкой хромовой обувью, удержавшись лишь для особо тяжелых условий работы (рыбные промыслы, шахты и т. д.).

Из 131 учитываемых ЦОС'ом кожевенных предприятий в 1929/30 г. 79 работало М., давши за год около 8 млн. кож, общей площадью 2 180 млн. $дм^2$. Крупнейшими районами, занятыми выделкой мостовья, являются: Вятский район—600 тыс. кож в год, Сибирь—570 тыс. кож, Украина—500 тыс. кож, Урал—440 тыс. кож, Ленинградская область—400 тыс. кож, Центр.-Черноземная область—370 тыс. кож, Северный Кавказ—300 тыс. кож, Нижегородский край—300 тыс. кож, Казахстан—270 тыс. кож, Н. Волга—275 тыс. кож, Ср. Волга—200 тыс. кож, В. Волга—190 тыс. кож. Яловой обуви было пошито за этот год 15 млн. пар. К яловочному М. (из шкур рогатого скота) утвержденный СТО стандарт предъявляет следующие требования: М. изготовляется в виде целых кож и по обработке бахтармы делится на нестроганое, строганое и спиленное; по качеству—на 1-й, 2-й и 3-й сорт; по площади (при сдаче М. по площади)—на мелкое (140—200 $дм^2$ площади одной кожи), среднее (>200—300 $дм^2$) и крупное (>300 $дм^2$) и по весу (при сдаче на вес)—на легкое, среднее и тяжелое. Деление это определяется величинами, указанными в таблице.

М. яловочное д. б. нормально продублено, хорошо промыто, нормально прожировано и выделано без утяжеления; нормально высушено, отмято, разведено и плотно (не рыхло). Лицо М. д. б. чистым, не стянутым и не отдушистым. М. нестроганое д. б. чисто омездрено; М. строганое—чисто и ровно выстругано по всей площади кожи. М. пиленое д. б. равномерно спилено на площади не менее 25% всей поверхности кожи, причем остальная часть ее д. б. чисто и равномерно подстругана. Лицо М. не д. б. отдушистым, т. е. не должно образовывать морщин при сгибании образца на 180° лицом внутрь на валике диам. 25 *мм*, а также не давать садки, т. е. разрывов и трещин при сгибании кожи вчетверо лицом наружу и при сжимании ее пальцами на 50 *мм* ниже внутреннего края сгиба. Все пороки кожи, как имевшиеся на сырой шкуре, так и полученные во время выделки, оцениваются в зависимости от их влияния на качество кожи баллами; сумма баллов всех пороков кожи определяет ее сортность. По химич. составу М. должно удовлетворять нормам:

Влаги	⩾ 18%	Вымываемых водой*	⩾ 8%
Жира*	⩾ 10%		
Золы*	⩾ 0,8%		

Среднее по партии сопротивления разрыву д. б. ⩽ 1,75 *кг/мм²* для М. пиленого и строганого и ⩽ 2 *кг/мм²* для М. нестроганого. Наиболее употребляемым сырьем для М. являются коровьи шкуры весом от 10 до 20 *кг* в парном виде (только что снятые с туши) и бычковые до 16 *кг*. Лучшим видом консервировки сырья служит засолка его. В прошлом однако было много мороженого сырья и пресно-сухого.

Установившаяся сейчас практика работы М. сводится к следующему. Сырье, очищенное еще до консервировки (засолки) от рогов, хвостов, прирезей мяса и навала (навоза и грязи на волосяной стороне) подбирается по видам, весу и плотности отдельных шкур в возможно более однородную производственную партию, размером от 120 до 200 кож или от 2 000 *кг* до 3 500 *кг* парного веса (нормальный размер партий установлен в 2 500 *кг*) и поступает на первую операцию—отмоку, которая преследует цели: 1) отмыть шкуру от оставшейся на ней грязи, крови и лимфы и смыть с поверхности шкуры соль (часть соли, оставшейся в шкуре, способствует проведению следующей операции—золению); 2) достаточно обводнить волокна кожевой ткани (коллагена) и 3) удалить из шкуры растворимые белки. Вся эта операция д. б. проведена без значительного гидролиза кожевой ткани. Главной опасностью отмоки являются гнилостные бак-

Деление мостовья.

Мостовье	Вес одной кожи в *кг*			Толщина в огузочной части в *мм*
	Легкое	Средн.	Тяжел.	
Пиленое . . .	3—4	4—6	6—8	⩽2,5—⩾3,0
Строганое . .	3—4	4—6	—	⩾3
Нестроганое .	2,5—4,5	>4,5—7	>7—10,5	⩽2—⩾4

Всякое неспиленое мостовье свыше 6 *кг* в коже относится к нестроганому мостовью.

* В пересчете на кожу с влажностью в 18%.

терии, заносимые в отмочные воды шкурами, и выделяемые ими энзимы, вызывающие целый ряд пороков в готовой коже, как то: безличины, прелины и даже полное разрушение кожи. Растворы солей в небольших концентрациях (за исключением $CaCl_2$, который при концентрации свыше 0,4 *г* на *л* вызывает уже усиленный гидролиз кожевого вещества) влияния на отмоку не оказывают. Лучшим условием правильного проведения отмоки является пользование холодной, не свыше $t°$ 15°, свежей водой при количественном отношении кожи к воде 1 : 3 или 1 : 4. Время нахождения в воде в общей сложности для мокросоленого сырья не должно превышать 2 суток. Сырье обычно промывается около получаса в проточной холодной воде в барабане или гашпиле и закидывается целой партией на ночь или на сутки на холодную воду в железобетонный подпольный чан (размером от 4 до 5 $м^3$ на *т* парного сырья). Этим достигается промывка сырья и обводнение волокон, после чего становится возможным правильное проведение процесса мездрения (снятия нижнего слоя кожи) подкожной клетчатки, состоящей из жировых клеток, мускулов и т. д. Операция эта производится в большинстве случаев на особой машине. Снятая мездра идет на выварку сала и получение мездрового клея. В парном состоянии шкуры волокна кожевой ткани параллельны поверхности кожи, при достаточном высыхании волокон параллельность эта нарушается и не восстанавливается до полного обводнения их, в силу чего недостаточно обводненная кожа не м. б. правильно омездрена, нож будет захватывать и часть кожевой ткани, ослабляя прочность кожи. В нормальном состоянии шкуры кожевая ткань закрыта сверху сетью эпителиальных клеток эпидермиса и снизу слоем жировых клеток, непроницаемых для растворимых белков; вымывание последних может быть произведено лишь после удаления жирового слоя мездрением, для чего после мездрения шкуры вновь забрасываются на сутки опять в такие же чаны на воду. В случаях сильно засушенного сырья употребляются в качестве ускорителей процесса обводнения волокон кожи к-ты и щелочи, являющиеся в то же время и антисептиками; при пользовании теплой водой необходимо сокращать продолжительность отмоки. Влажность размоченного сырья—около 70%. После всех операций отмоки сырье обычно выстилается на козлах, не менее чем на 2 ч. после чего определяют отмочный вес его. Следующая операция—золка, задачей к-рой является разрушение клеток эпидермиса и волосяных сумок (мальпигиева слоя). В целях получения достаточной степени раззола кожи, преследуя одновременно и задачу сохранения шерсти, очень ценной в мостовьевом сырье (в количестве до 1 *кг* сухой мытой шерсти с одной шкуры), при выделке М. употребляют медленную золку, до 8—10 дней чистой известью, без обострителей, с $t°$ зольной жидкости до 25° и отношением кожи к жидкости 1:3, 1:4. Наиболее рациональная система золки—ход из 3 зольников: старого, более свежего и вновь заправленного. Кожи завешиваются в зольник (такой же, как и отмочный чан) или, чаще, просто закидываются на хорошо размешанный раствор. Для равномерности прозола, кожи несколько раз перебирают, причем кожи идут в чан в обратном порядке. Из зольников кожи идут на сгонку волоса—дернение, которое производится на большинстве заводов обычно вручную на наклонных колодах, хотя машины для этой цели имеются; снимаемая шерсть сортируется по цвету и сейчас же идет в мойку и сушку (на мелких заводах до сих пор еще шерсть замораживается и лежит до весны, когда промывается в реках или озерах и сушится на солнце). Одновременно с волосом сходит частично и эпидермис. Для достижения полной очистки лица от эпидермиса, получения равномерного нажора волокон кожевой ткани и частичного гидролиза межклеточного вещества, необходимого для придания коже мягкости, дается еще зольный обжор—2-суточная золка в свежем зольнике, с добавлением кальцинированной соды и $t°$ ок. 15°. Далее кожи забрасываются для промывки от извести в чан на воду (обычно на ночь), промываются в барабане и идут на ручную работу, опять на такие же колоды, для подчистки острым ножом краев кожи с мездряной стороны—кантовку и чистку лица (снятие остатка эпидермиса и мелкого волоса—подседа), после чего опять забрасываются в чан на холодную воду. Кожи поднимаются из воды, развешиваются без складок на деревянные козлы или выстилаются на столах и идут на двоение (спиловку), производимую машиной с бесконечно движущимся ножом (см. *Двоение кожи* и *Двоильная машина*). Для успешного проведения двоения необходимо, чтобы волокна ткани были равномерно разбучены (нажраны), в противном случае в коже получаются выхваты и прорези. С этого момента получается два вида продукции: лицевой спилок, дающий мостовье, и мездровый спилок или просто спилок, до последнего времени используемый лишь как подкладочный товар, теперь же с успехом идущий наверх яловой обуви. Количество получаемого спилка зависит от вида и веса кож и колеблется от 15 до 25% от готового веса кожи. Лицевой спилок промывается (в гашпиле, барабане или чанах) в теплой (25—30°) воде и идет на *мягчение* (см.). Эта операция состоит из двух процессов: 1) «обеззоливания», преследующего цель удалить из кожи остатки извести, произвести опадение нажора и создать в коже постепенный переход от сильно щелочного значения при золке P_H (около 12,5) до оптимального для процесса дубления значения (около 5); 2) собственно мягчения.

Достигнутое путем мягчения структурное изменение кожи фиксируется последующим процессом дубления, что дает необходимую для верхнего товара мягкость и пластичность кожи. Благодаря этому своеобразному действию для выделки М. чаще всего процесс мягчения проводится киселями из ржаной и овсяной муки, заваренной горячей водой. Кожи поступают сначала на старый кисель, где была уже одна партия кож, на 8—12 ч. и потом на свежий, сладкий кисель. Об-

щая продолжительность мягчения не превышает суток, при $t°$ в 30°. Мягчение проводится в гашпилях или в деревянных чанах, в последнем случае с ручными переборками кож. Между двумя киселями кожи промываются теплой водой и фасонируются вручную на колодах, т. е. из опавшей мягкой кожи выжимаются тупым ножом грязь и разрушенные луковички волоса. Иногда и после второго киселя кожа промывается или только отжимается. Кроме киселей для мягчения М. употребляют оропон и шакшу (см. *Мягчение*). Приготовленная таким обр. к дублению кожа называется голье м. Выход голья (с мездровым спилком) от отмоченного веса шкуры—70—73%; влажность — около 75%. Наиболее употребительным дубителем для М. является ивовая кора или смесь ивовой и еловой (до 50%) коры. Сока из этих кор получают вываркой их в «соковарках», состоящих из батарей от 6 до 12 обычно деревянных диффузоров. Экстракция идет при заливке последних, хвостовых чанов горячей до 70° (редко выше) водой и падении $t°$ сока с переходом к более свежим диффузорам. Сока снимают от 2 до 4 *л* на *кг* корья, крепостью до 3,5° Bé и редко до 6—7° Bé. Продолжительность экстрагирования колеблется от 2 до 6 сут. Количество таннидов в соках—от 20 *г* на *л* до 45 *г* и выше, при содержании нетаннидов от 25 до 60 *г*. $P_н$ соков при получении их обычно держится ~4. При экстрагировании начинают применять сульфитирование соков, что повышает выход таннидов и предохраняет их от закисания. Использование таннидов корья при соковарении редко поднимается выше 80%. Процесс дубления, претерпевший наибольшие изменения за последнее время, складывается теперь так: голью дается 2-суточная заличка в гашпилях водой с ивовым корьем (иногда отходящими из сокового хода соками или промывными водами). Здесь голье получает не более 10% от всех вводимых в кожу таннидов. Далее следует 14-чанный (иногда меньше, до 6) соковой ход (обычно из железобетонных подпольных чанов), емкостью из расчета отношения кожи к соку 1:8—1:10. Кожи завешивают на шестах и переносят из чана в чан в направлении к самому крепкому головному раз или два раза в сутки. Сок в свою очередь имеет движение, обратное кожам: раз в сутки около трети или больше последнего, хвостового чана спускается в канализацию (иногда на заличку), и все сока постепенно передавливаются из более крепкого в более слабый чан. В головной чан добавляется более свежий сок из барабанов или из соковарки. Кожи должны в соковом ходу прокраситься насквозь, т. е. должны быть захвачены процессом дубления во всю толщину. Правильность и скорость протекающего процесса дубления прежде всего зависит от подготовки голья; голье с невымытыми растворимыми белками, плохо прозоленное и промягченное, замедляет процесс дубления и дает излишне плотный товар. Самый процесс дубления в основном регулируется: 1) дисперсностью таннидов в дубильных растворах, предопределяемой природой дубителя и методом получения из него соков ($t°$, сульфитирование и пр.); 2) соотношением таннидов и нетаннидов (доброкачественность соков), зависящих от дубителя и способов использования соков; 3) $P_н$ соков, регулируемый нейтрализацией (едкий натр, мел) или буффированием (поваренная соль, сульфит, бисульфит); 4) $t°$ соков и крепостью соков, вернее содержанием таннидов на *л* сока. Низкая $t°$ выварки соков и сульфитирование их ускоряют процесс дубления; большая кислотность соков вызывает *нажор* (см.) и дает грубый товар (полувалистый); обычно $P_н$ держится в пределах от 4 до 5. Повышение $t°$ (до 30—35°) ускоряет процесс, но опасно для малозадубленной кожи. Крепость сокового хода держится обычно от 0,5° до 2—2,5° Bé. Дубление в соковом ходу проходит на 50—90%, при полном прокрасе голья. Из сокового хода кожа поступает в дубной барабан, где додубливается 1—2 суток при крепости соков от 2,5 до 4° Bé. В барабан идут свежие сока из соковарки. После барабанов кожам дают полежать (1—2 сут.)—«созреть», т. е. усилить процесс связывания таннидов с кожевым веществом, промывают сначала в чанах, потом в барабане теплой водой, отжимают на гидравлич. прессе и жируют в жировальных барабанах, лучше смесью ворвани и дегтя (сульфитированная ворвань и другие жиры). Подвяленные кожи разводятся на машинах и сушатся 1—2 сут. при $t°$ в 30—35° в вентилируемых сушилках. Высушенные кожи отволаживаются обрызгиванием водой, тянутся на тянульных машинах, и этим заканчивается процесс выделки М. Мездряной спилок выделывается или методом хромового дубления или так же, как и М., проходя ускоренный процесс дубления в барабане или гашпиле. Выход готового товара с мездряным спилком от размоченного сырья колеблется от 36 до 40%. Анализ М. выдубленного таким соково-барабанным методом:

Влаги фактической	16,00%	Гольевого вещества*	47,00%
Золы*	0,50 »	Связанных дубящих*	26,00 »
Жира*	7,50 »	Коэфициент продуба	55,0 »
Вымываемых*	3,00 »	Коэф. выхода	210,0 »
Кожевого вещества*	73,00 »		

Прежние методы дубления М. сводились к тому, что танниды не извлекались предварительно из кор, а кожи закладывались в чан и пересыпались корьем, и все это заливалось слабым соком от прежних партий (сыпняя). Для полного продубливания кожи таких сыпен надо было дать 4—5, и продолжительность дубления была 3—4 месяца. В целях ускорения этого сыпного метода кожи стали продубливать в сыпнях не полностью, давая только 2—3 короткие сыпни и додубливая их потом в барабанах квебраховым экстрактом. Этот комбинированный (сыпно-барабанный) метод давал возможность свести дубление к 30—40 дням, тогда как соково-барабанный метод дает возможность закончить все дубление в 10—15 дней. Вновь строящиеся заводы для выделки мостовья по описанному соково-барабанному методу рассчитываются на пропускную способность каждым ок. 1 000 кож в день. Здание з-да осуществляется в виде одноэтажной квадратной коробки, где ход процесса производства идет развернутым фронтом (движутся одновременно параллельно все пускаемые в день партии товара). Стоимость строительства мостовьевых заводов на одну годовую кожу с отделкой ее на юфть (выражается в настоящее время в сумме 10 руб. 30 коп.) слагается из стоимости производственного строительства (42%), производственных машин (26%), паросиловой стан-

* В пересчете на кожу с влажностью в 18%.

ции (20%) и прочего оборудования (12%). Площадь пола цехов на одну дневную кожу:

Отмочное отделение	1,03 м²
Зольное »	1,33 »
Мягчильное »	1,50 »
Заличное »	0,80 »
Сековое »	1,65 »
Дубно-барабанное отделение	1,46 »
Сушка и отделка	5,85 »
Всего	13,62 м²

Расход на 1 дневную кожу (без отделки):

Рабочей силы 1,560 чв-ч.	Пара 86 кг
Энергии 8,4 сило-ч.	Воды 1 230 л

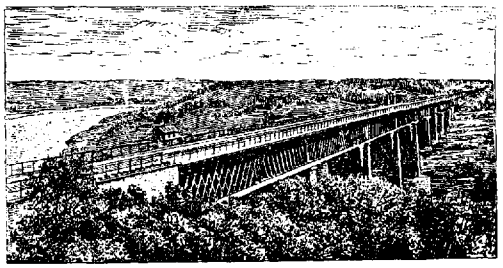
Лит.: см. *Кожевенное производство.* **Ю. Кавказов.**

МОСТЫ, инженерные сооружения, служащие для перехода через водные потоки, овраги, дороги и т. п. М., предназначенные для перехода над дорогой, иногда называются путепроводами, а заменяющие земляную насыпь (напр. на глубоких оврагах или над улицами городов, при проведении ж. д. вдоль них)—*виадуками* (см.) и *эстакадами* (см.). Совокупность всех частей М., за исключением опор, называется пролетным строением. Расстояние в свету (просвет) между устоями в однопролетных М., имеющих только две концевые опоры—устои, и сумма расстояний в свету между всеми опорами в многопролетных М., имеющих кроме устоев еще промежуточные опоры—быки (см. *Опоры мостов*), называется отверстием М.

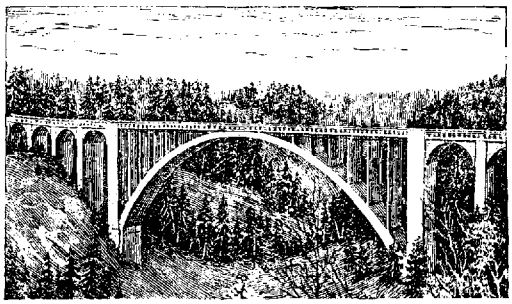
Классификация М. По своему назначению М. разделяются на: 1) железнодорожные; 2) экипажные—под шоссейные и грунтовые дороги, улицы городов и т. п.; 3) пешеходные и 4) акведуки—для проведения воды (водопроводов, каналов). По материалу различают М.: деревянные, металлические (чугунные, стальные), железобетонные и каменные (кирпичные, из бутовой кладки, бетонные). По роду опор и пролетного строения мосты бывают: постоянные (с неподвижными опорами и пролетным строением) и подвижные, в свою очередь подразделяющиеся на разводные, в к-рых подвижной является только часть пролетного строения, и наплавные, в к-рых подвижны как пролетное строение, так и опоры. По расположению езды различают: М. с ездой поверху, ездой понизу и ездой посредине. По роду воздействия на опоры М. делят на балочные, вертикальная нагрузка на к-рые вызывает только вертикальные реакции опор; висячие, в которых воздействие на опоры наклонно и направлено внутрь пролетов; арочные и подкосные, в к-рых воздействие на опоры тоже наклонно, но направлено наружу пролетов. По отношению к перекрываемым пролетам М. бывают: разрезные, имеющие отдельные пролетные строения для каждого пролета; неразрезные—с пролетным строением, продолжающимся непрерывно через два или более пролетов; консольные, пролетное строение к-рых перекрывает полностью один и более пролетов и кроме того имеет свешивающиеся в соседние пролеты части, так называемые консоли, на концы которых опирается соседнее балочное пролетное строение.

История. Начало постройки М. теряется во временах доисторических. Первые М. были наплавные и деревянные. Наплавные М. были построены: Киром персидским (в 538 г. до хр. эры) через Евфрат; Мандроклом из Самоса в 513 году через Босфор и Дунай во время его скифского похода; Ксерксом в 481 году через Геллеспонт (Дарданеллы) на лодках, во время его похода против греков. Сохранившееся описание конструкции последнего моста, длиной около 1 250 м, показывает уже на относительно высокую степень совершенства инженерного искусства в эту эпоху. Древнейший постоянный М., о котором имеются исторические сведения, был деревянный балочный М. на кирпичных опорах через Евфрат в Вавилоне, построенный в 8—7 в. до хр. э. Приблизительно в это же время (конец 7 в.) был построен первый постоянный деревянный М. на свайных опорах через р. Тибр в Риме. Образчиками М. императорской эпохи Рима могут служить деревянный свайный М. через Рейн около Бонна длиною около 600 м, построенный Юлием Цезарем в 56 г., и М., построенный Аполлодором из Дамаска, через Дунай у Орсовы в 103 г., арочный деревянный, на каменных опорах, длиной около 1 км. После падения Рима, вплоть до эпохи Возрождения, прогресса в постройке деревянных М. не было почти никакого. В 16 в. итальянский инж. Палладио предложил ряд типов деревянных балочных шпренгельных и подвесных ферм, по конструкции близко напоминающих современные системы. В половине 18 века обращают на себя внимание М. подкосно-балочной системы через Рейн у Шафгауэена постройки плотников-самоучек бр. Грубенман, с пролетами 52 и 59 м, и через р. Лиммат у Веттингена с пролетом 119 м—наибольшим по настоящее время осуществленном в деревянном М. Однако решительный поворот в деле постройки деревянных М. наступил только с появлением балочных систем мостов, созданных в Америке. В первой половине 19 в. таких систем было предложено множество, но из них только две—Тауна (1820 г.), послужившая впоследствии прототипом металлических многорешетчатых ферм, и Гау (1835 г.)—завоевали себе прочное положение. Они быстро проникли в Европу, в частности в Россию, где фермы Гау в улучшенном инж. Журавским виде получили широкое применение на строившейся в 40-х гг. 19 в. Московско-Петербургской (ныне Октябрьской) ж. д. [многопролетные неразрезные М. через р. Мсту 9×61 м (фиг. 1), Веребьинский овраг и мн. др.]. Во второй половине 19 в. деревянные М. были однако вытеснены железными, вследствие чего развитие первых приостановилось. Лишь в последние годы, гл. обр. после войны 1914—18 гг., замечается некоторое оживление в этой области, преимущественно в странах бедных металлом.

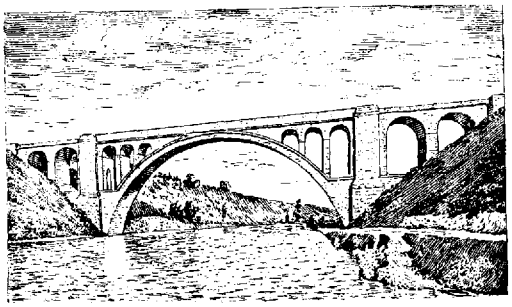
Первые каменные мосты, как и деревянные, устраивались балочными, но по самому свойству материала каменной плитой можно перекрыть только сравнительно небольшие пролеты. Для персидских М. позднейшей постройки, сохранившихся до нашего времени, типичными являются стрельчатые своды, что обусловливалось необходимостью, вследствие недостатка дерева, по возможности ограничивать применение кружал; по этой же причине пролеты персидских мостов не превосходили 30 м. Характерными чертами римских М. являются полуциркульные своды и весьма значительная толщина опор. Своды часто устраивались насухо, с точной притеской камней. Для избежания устройства опор со сложными основаниями на больших реках заметна тенденция к увеличению пролетов (однако не свыше 34 м). Сохранившиеся мосты эпохи Римской империи и их остатки рассеяны по всему ее пространству—от Испании и Франции до Малой Азии, Сирии и Африки. Число их весьма велико. Через один только Тибр в Риме и его окрестностях было построено 8 мостов и 14 акведуков. Из замечательных сооружений этой эпохи можно назвать трехярусный Нимский акведук с пролетом до 24,5 м, высотой 49 м и длиной 260 м (50 г.); двухъярусный Сеговийский акведук (Испания) длиной 1 600 м, высотой 34 м (98 год), Антиохийский акведук (Сирия) длиной 6 700 м и высотой 62 м, и мн. др. После распадения Римской империи в строительстве М. наступает застой; новые М., в особенности более значительные, насчитываются только единицами. Некоторое оживление в постройке М. наступило в 12 в., после образования общества (впоследствии монашеского ордена) «Мостовых братчиков», построивших ряд замечательных М.: через Рону в Авиньоне (1177—85 гг.) в 18 пролетов по 33 м, перекрытых эллиптич. сводами (сохранилось 4 пролета), и через р. Дунай в Регенсбурге (1135—45 гг.). Стремление уменьшить крутизну въездов на мост при сохранении больших пролетов вызывало переход от римской полуциркульной арки к пологим и коробовым сводам, что приписывается тем же мостовым братчикам. Из М. этой группы обращает на себя внимание М. через р. Адду в Трецио, с пологой аркой (1 : 3,5) пролетом в 72 м (1377 г.),



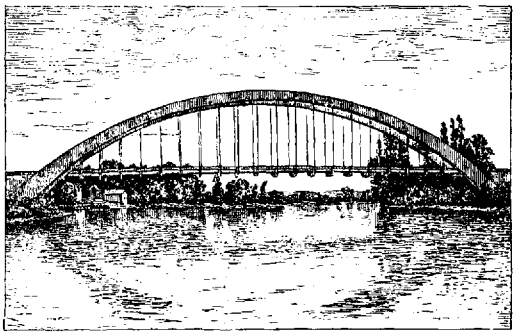
Фиг. 1.



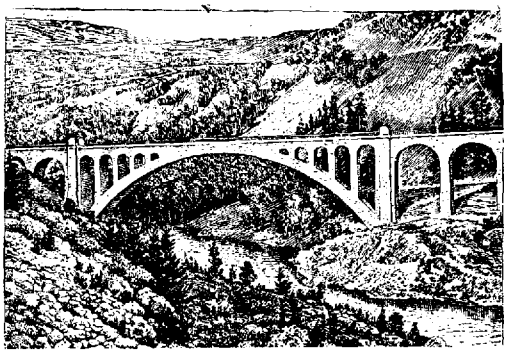
Фиг. 4.



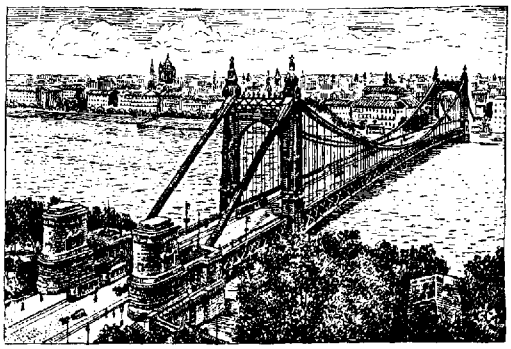
Фиг. 2.



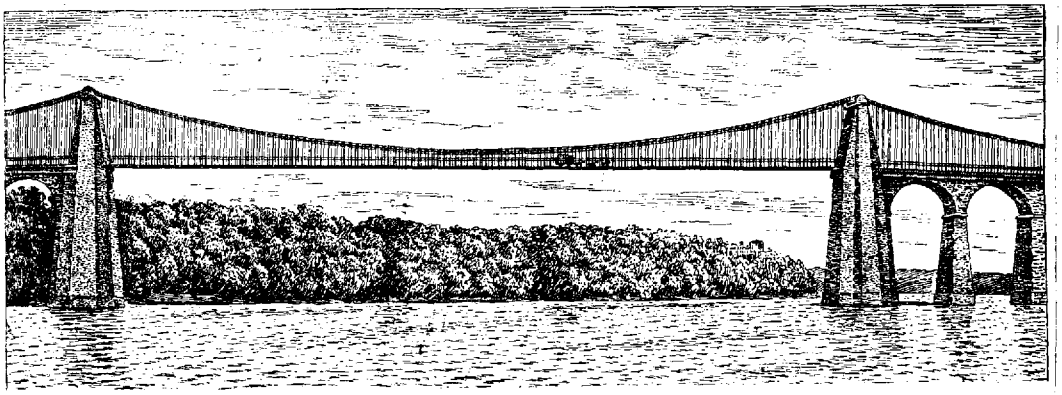
Фиг. 5.



Фиг. 3.



Фиг. 6.



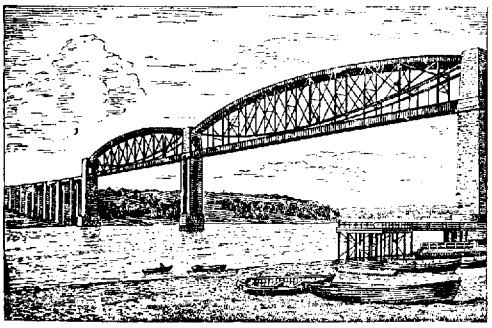
Фиг. 7.

превзойденным только в самое последнее время. В следующую эпоху, несмотря на отдельные улучшения в деле постройки каменных М., конструкция их в целом остается неизменной вплоть до 18 в. С начала этого века Франция первая начинает теоретич. изучение вопросов строительного искусства. Казавшиеся неразрешимыми вопросы о толщине сводов, опор М. и т. п. получают надлежащее освещение, и усовершенствования в постройке М. быстро принимают размеры, о к-рых раньше нельзя было и мечтать. Ряд М., построенных в эту эпоху по проектам знаменитого франц. инженера Перроне, в которых подъем доведен до $^1/_{12}$ и даже до $^1/_{17}$, а отношение толщины быков к пролету до $^1/_7$—$^1/_{10}$ вместо прежних $^1/_4$—$^1/_8$ и даже $^1/_3$, ярко рисует достигнутые успехи. Таков например, считавшийся в свое время образцовым, мост через Сену в Нейльи (1768—74 гг.) с 5 коробовыми сводами по 39 *м*, с подъемом $^1/_4$ и толщиной быков 1:9,2. Девятнадцатый век, несмотря на развитие мостостроения в связи гл. обр. с постройкой ж. д., в области постройки каменных М. дал мало нового. Лишь в конце 19 в. в связи с деятельностью знаменитого франц. инженера Сежурне начинается новый расцвет каменного мостостроения. Период этот, продолжающийся и по настоящее время, уже дал такие замечательные М., как например мост Лавор через р. Агу (Франция) пролетом 62 *м* (1884 г., фиг. 2). Школе Сежурне принадлежит М. через р. Изонцо возле Сальккано (Италия), пролетом 85 *м* (1904 г., фиг. 3). В самые последние годы, в связи с нек-рыми новыми приемами постройки больших сводов, введенными французским инженером Фрейсине, удалось значительно увеличить предельную величину пролета каменного свода, и сейчас уже имеется осуществленный свод пролетом в 98 *м* в М. через р. Ло в Виленеве (Франция, 1919 г.).

Параллельно прогрессу каменного мостостроения шло развитие другой отрасли массивного мостового строительства—ж е л е з о б е т о н н о г о. Хотя последнее насчитывает едва 40 лет, успехи его весьма значительны. Если в области балочных М. успехи железобетона не столь эффектны, то арочные железобетонные М. как по величине пролетов, так и общей грандиозности сооружений быстро догнали каменные М. Уже в 1908 г. был построен Гмюндертобельский виадук (Швейцария) пролетом 79 *м* (фиг. 4), в 1910 г.—Ауклендский М. (Новая Зеландия) пролетом 97,5 *м*, а в 1911 г.—мост Возрождения через Тибр в Риме пролетом 100 *м*, чем железобетонные М. перешагнули через предел, достигнутый к тому времени каменными М.; в настоящее время наибольшие пролеты железобетонных М. уже достигли 132 *м* в М. через Сену у С.-Пьер дю Вовре (1923 г., фиг. 5) и в М. у Бреста пролетом 180 *м*.

Первым ж е л е з н ы м М. (если не считать китайских, древность к-рых по нек-рым данным восходит к 1-му в. до хр. э. и даже еще раньше, по другим же лишь к 17 в.) был переходный висячий цепной М. через р. Тиз в Англии (1741 г.). С начала 19 в. началось быстрое развитие постройки висячих М. Техника этого дела скоро настолько усовершенствовалась, что уже в 1826 г. известным строителем Тельфордом мог быть построен цепной М. пролетом 177 *м* через Менийский морской пролив в Англии (фиг. 7). В 1840 г. был построен М. через Дунай в Будапеште пролетом 200 *м* и в 1865 г. Клифтонский М. через р. Авон возле Бристоля (Англия) пролетом 214 *м*, долгое время бывший рекордным для цепных М. и лишь в первые годы 20 в. превзойденный новым М. в Будапеште через реку Дунай пролетом 316 *м* (фиг. 6). Постройка висячих М. с проволочными канатами началась с 1815 г., но уже в 30-х гг. пролеты проволочных висячих М. дают цифру 308 *м* (М. через Огайо), а ниагарские М. имеют пролеты 317 *м* (1850 г.) и 385 *м* (1869 г.); в 1870—76 гг. пролеты достигают 486 *м* (в Бруклинском М. через Ист-Ривер, Нью Йорк)—величины, только в 1903 г. превзойденной Вильямсбургским М. (пролет 488 *м*) в том же Нью Йорке. В настоящее время первое место принадлежит законченному в 1926 г. М. через р. Делавар в Филадельфии (США) с наибольшим в мире пролетом 533 *м* (проект инж. Моисеева) и строящийся М. через Гудзон пролетом 1027 *м*. В Европе наибольший пролет (310 *м*) имеет М. через р. Рейн у Кельна. Наиболее широкое применение получил металл в области балочных М. Период искательства в этой области (1825—60 гг.) отмечен появлением ряда таких оригинальных форм, как сплошные трубчатые стенки Трентского моста инж. Фоулера (1849 г.), сплошная полая железная труба четырехпролетного неразрезного моста «Британия» через Менийский пролив с наибольшими пролетами 140 *м* (1844—50 гг.) Р. Стефенсона-сына и соединение арки с цепью в ферме Сальташского моста через Тамар пролетом 139 *м* Брюнелл, с общим для обеих ферм верхним поясом (1854 г., фиг. 8). Однако все эти формы оказались нежизненными. Будущее имели: простая треугольная решетка, осуществленная впервые французом Невиллем (1845 г.), многорешетчатые М., родоначальником которых является мост Бертона через Бойн у Дрогеды возле Дублина (Ирландия) пролетом 43 *м* (1845 г.) и американские раскосные формы Уиппля-Мёрфи (50-е гг.), быстро распространившиеся в Европе и уже в 1863 г. достигшие в М. через Лек у Квиленбурга (Голландия) пролета 154 *м* (фиг. 9). Стремление избегнуть нек-рых недостатков неразрезных ферм, сохранив их экономические преимущества, привело к применению консольных ферм, предложенных нем. инженером Гербером в 1866 г. В 1882—89 гг. этими фермами перекрыт в знаменитом Фортском М. рекордный пролет в 521 *м* (фиг. 10), а в 1917 г. этот рекорд был даже несколько превзойден в однотипном квебекском М. через р. Св. Лаврентия в Канаде (549 *м*, фиг. 11). Теоретико-расчетный подход к мостовой ферме, расцвет к-рого начинается с 80-х гг., привел к постепенному упрощению решетки и широкому распространению треугольных и шпренгельных систем, впервые появившихся в Америке и перешедших в Европу в 1896 году (мост через Енисей, проект Проскурякова). Первым металлическим арочным М. был чугунный М. через реку Северн (Англия) пролетом 32 *м* (1776 год). После ряда улучшений и усовершенствований, введенных в конструкцию арок последующими строителями, уже в 1814 г. в Саутверском М. через Темзу в Лондоне известным строителем Ренни осуществлен наибольший до сего времени пролет чугунного арочного моста, а именно 73 *м* (фиг. 12). До 50-х гг. 19 в. чугун безраздельно господствовал в области арочных М. как под обыкновенную, так и под железную дорогу. С этого времени его и здесь начинает вытеснять железо, в особенности в ж.-д. мостах, и окончательно чугун уступает место железу в 70—80-х гг., в период расцвета постройки больших арочных М.: серповидные двушарнирные арки Эйфеля; мост в Опорто (Португалия) пролетом 160 *м*, виадук Гараби (Франция) пролетом 165 *м* (1887 г., фиг. 13). В 1900 г. появилась первая арка с затяжкой (М. через Рейн в Вормсе), что позволило применять арку повсеместно и как безраспорную систему. В настоящее время пролеты арочных М. достигли: 256 *м* в Клифтонском М. через Ниагарский водопад (1901 год, фиг. 14), 298 *м* в недавно законченном (1917 год) Хеллгетском М. через Ист-Ривер в Нью Йорке (проект Линденталя) и рекордной цифры 503 *м*—в строящемся М. через гавань в Сиднее (Австралия).

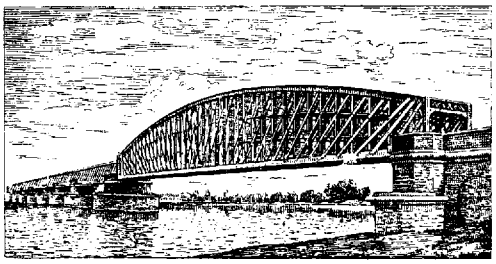
Выбор места перехода. Важнейшим вопросом при проектировании М. является выбор места перехода. При пересечении малых рек вопрос этот решается просто: дорога, в особенности железная, а также улицы городов пересекают реку, не изменяя своего направления, река же затем, путем устройства искусственного русла и других регуляционных работ, направляется под М.; такое решение и технически и экономически в значительном большинстве случаев наиболее правильно. Пересечение большой реки городским М. представляет наибольшие трудности с точки зрения одновременного удовлетворения требованиям движения по М. и судоходства, гидравлич. факторам и наконец эстетики. Удобство движения по М., обычно очень интенсивного, требует обязательного устройства прямого съезда, который по возможности вдвигают в пойму в виде насыпи или эстакады. Если мост примыкает непосредственно к набережной, съезд этот располагают вдоль улицы по продолжению М., а поперечные съезды—вдоль набережных, иногда в подпорных стенках. Для сокращения длины съездов и упрощения их устройства и для возможности вместе с тем дать М. достаточное возвышение для пропуска судов, городские М. обычно устраивают с подъемом. Все эти трудности вынуждают иногда выносить мост на окраину, куда город обычно быстро подтягивается. Место пересечения большой реки ж.-д. М., а также мостом для экипажной езды вне городов, выбирается наиболее выгодное с точки зрения гидрологической, геологической и



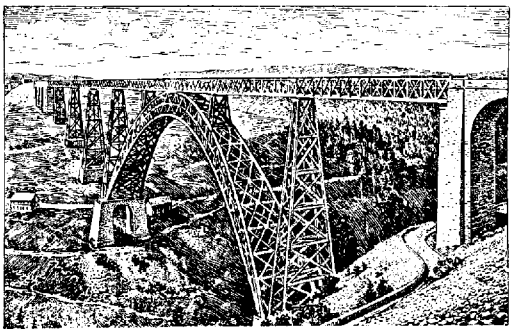
Фиг. 8.



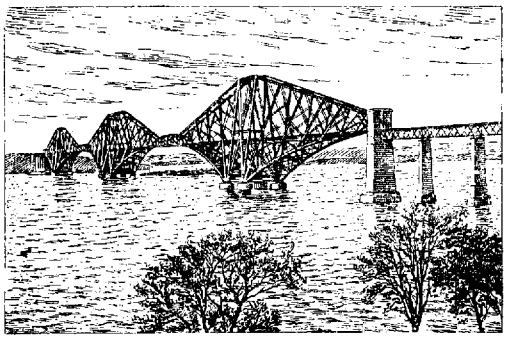
Фиг. 12.



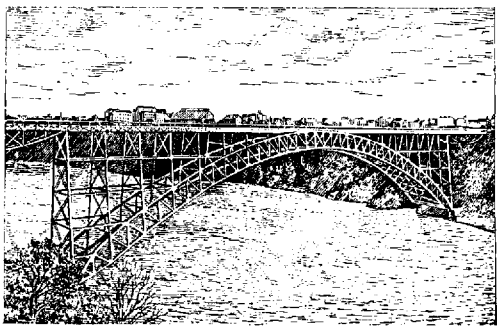
Фиг. 9.



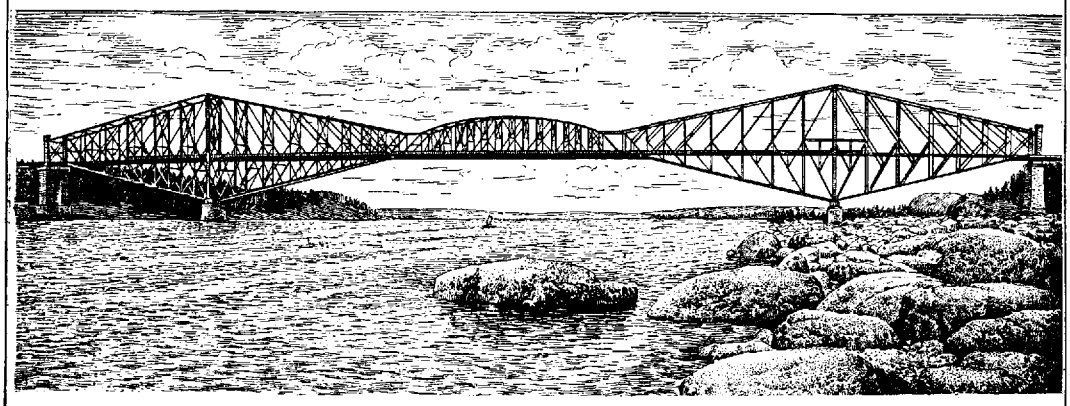
Фиг. 13.



Фиг. 10.



Фиг. 14.



Фиг. 11.

судоходной: по возможности на прямом участке реки в месте с устойчивым руслом и направлением течения, нормальным к линии перехода как в межень, так и в высокую воду, чему удовлетворяют обычно пересечения в плёсах; ширина пойм по линии перехода д. б. по возможности меньшей; скорости течения не должны препятствовать судоходству; судовой ход вблизи моста должен быть прямолинейным, а геологич. условия должны обеспечивать от возможности сплывов, оползней и давать возможность закладки опор на приемлемых (технически и экономически) глубинах.

Очень серьезно влияют на условия проектирования М. требования судоходства в отношении величины пролетов и возвышения низа ферм над горизонтом воды. С судоходной точки зрения реки СССР распределяются на шесть категорий, характеристика к-рых в основном сводится к следующему. Реки 1-й категории имеют половодье свыше 30 дней, глубину в низкую воду ок. 1,4 *м*; по ним производятся перевозки к портам, станциям, важнейшим промышленным центрам; мосты на таких реках должны иметь не менее двух пролетов по 130 *м*, с возвышением низа ферм над горизонтом высокой воды 14 *м* (эта цифра может быть уменьшена до 12 *м* там, где не ходят 3-этажные пароходы); остальные пролеты по 60 *м*, с возвышением 5,5 *м*. Реки 2-й категории имеют половодье не меньше 30 дней, наименьшую глубину 0,9 *м* и являются транзитными путями; М. на них должны иметь два пролета по 80 *м*, с возвышением 10 *м* (деревянные М. могут иметь пролеты по 50 *м*). Реки 3-й категории, с половодьем в 15—30 дней, глубиной 0,9 *м*, являются важными местными путями; М. на них должны иметь два пролета по 50 *м*, с возвышением 8,5 *м*; деревянные М.—30 *м*, с возвышением 7 *м*. Реки 4-й категории преимущественно сплавные; М. имеют два пролета по 30 *м* (деревянные—по 20 *м*), с возвышением 4 *м*. Реки 5-й категории—не судоходные; сплав—на плотах; М. имеют 1 пролет 20 *м* (деревянные—12 *м*) с возвышением 2,5 *м*. Реки 6-й категории служат для сплава только россыпью; мосты на них имеют 1 пролет 10 *м* (деревянные—6 *м*), с возвышением 1 *м*. На всех реках, за исключением рек 1-й категории, в случае большой трудности дать мосту необходимую высоту, допускается с особого разрешения НКПС устройство разводных пролетов.

Другим важным фактором, с к-рым приходится считаться при проектировании М., является недавно проведенная в СССР стандартизация пролетов М., пока только ж.-д., и основных размеров пролетных строений: рассчетного пролета и расстояния между главными фермами. Стандартные пролеты изменяются в пределах от 2 до 20 *м* через каждые 2 *м*, далее следуют пролеты 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 150 и 200 *м*.

Ширина М. под ж. д. определяется *габаритом* (см.) приближения строений к пути, а также условиями устойчивости и жесткости М. в поперечном направлении. Ширина М. под экипажную езду в СССР с 1927 г., так же как и в ряде европейских стран и в Америке, стандартизована. Мосты различаются по числу рядов езды на них; при одном ряде ширина экипажного проезда составляет 3,5 *м*; при двух—4,5 или 5,5 *м*, в зависимости от интенсивности движения; при трех—7,5 или 9 *м*; при четырех—10 или 12 *м*. Тротуары делают шириной от 0,75 до 1,5 *м*, а в случае надобности—и больше. Высота проезда в М. с ездой понизу—4,5 *м*; в случае пропуска трамваев—5,5 *м*. В плане металлич. и деревянные М. по возможности располагают на прямой; на кривой М. устраивают только тогда, когда это технически неизбежно и экономически выгодно. Отдельные пролеты в этом случае располагают по хордам, а ж.-д. путь на М.—по кривой, которую располагают так, чтобы необходимое уширение М. было наименьшим. М. под экипажную езду, как уже указано, устраиваются с подъемами к середине М. Уклоны въездов на М. зависят от типа одежды полотна и колеблются в пределах от $^1/_{30}$ (при щебеночной коре) до $^1/_{10}$ (при асфальтовой мостовой). Поперечный профиль полотна для лучшего стока воды делается по выпуклой кривой. Ж.-д. М. по возможности располагают на горизонтальной площадке; в случае же технической необходимости, напр. на горных дорогах, М. устраивают и на уклонах, иногда даже очень крутых. В СССР такое устройство допущено с недавнего времени. Железобетонные и каменные М. могут без затруднений устраиваться на любых уклонах и кривых; это является одним из крупных преимуществ этих мостов.

Расчет отверстия. Отверстие М., перекрывающих улицу, дорогу, канал и т. п., определяется наименьшей шириной, к-рую необходимо оставить свободной для движения; М., перекрывающие водный поток, изменяют его режим (скорость течения, направление), создают подпор, повышая горизонт потока; определение условий безопасного пропуска потока через отверстие М. достигается его расчетом. Наибольшее количество воды, могущей притекать к отверстию М., м. б. определено двумя способами: а) по эмпирич. формулам и таблицам, дающим непосредственно в зависимости от площади бассейна наибольший расход воды для М., иногда площадь живого сечения потока под мостом или прямо величину отверстия моста; таковы таблицы Белинского, Дюфура (1922), ф-ла Ишковского, американские ф-лы Мейерса, Тальбота и ряд других; б) по формулам, требующим последовательного расчета. В СССР применяется только последний способ расчета, причем М. и трубы малых отверстий рассчитываются на пропуск наибольшего притекающего к ним количества ливневых вод, а М. большого отверстия—на пропуск наибольшего расхода весенних снеговых вод.

1. М. и трубы малого отверстия. Наибольший возможный расход воды малых сооружений на дорогах СССР определяется по эмпирической формуле $Q = C \cdot a \cdot F$, предложенной австрийским инженером Кёстлиным в 1868 г. и принятой в России в 1884 г. Здесь Q—количество притекающей к мосту воды в *м*³/*сек*, F—площадь бассейна в *км*², C—число, выражающее количество воды в *м*³/*сек*, притекающей с одного квадратного

километра при коэфициенте $\alpha = 1$; α—коэфициент, зависящий от длины бассейна L и его продольного уклона i. Величина C до 1928 года принималась, вообще говоря, для всего пространства СССР одинаковой и равной 16 *м³/сек*; лишь в нек-рых случаях для отдельных дорог вводились иногда поправочные коэф-ты (от $^1/_2$ до 2). В 1928 г. НКПС изданы новые нормы, согласно которым C является переменным и определяется по специальной карте изолиний. Величина его колеблется в пределах от 6 до 24 *м³/сек* (для Кавказа даже 32 *м³/сек*). Величина коэфициента α определяется по таблицам, а величины L, i и F — непосредственным измерением. Применение указанной формулы ограничивается бассейнами, имеющими площадь не более $4C$ *км²*; если же C менее 15, то—бассейнами площадью не свыше 60 *км²*. В зависимости от местных условий почвы и растительного покрова допускается или уменьшение расчетной величины Q до 50% или предписывается увеличение ее до 30%. В случае расположения выше по тальвегу потока плотины, к определенному выше расходу добавляется расход Q_1 на случай возможного прорыва плотины, определяемый по следующей ф-ле:

$$Q_1 = c \cdot \omega \sqrt{R\frac{h}{l}},$$

где ω—площадь (в *м²*) живого сечения прорыва, возможная величина к-рого определяется на месте, R—подводный радиус (в *м*) в месте прорыва, h—подпор (в *м*) плотины, l—расстояние (в *м*) от плотины до М., c—коэфициент, характеризующий сопротивление русла протеканию по нему воды и определяемый по одной из существующих для этого эмпирич. ф-л (Базена или Гангилье-Куттера). По найденному расходу Q, непосредственно измеренным в натуре—площади ω поперечного сечения русла водотока на месте перехода и уклону тальвега i перед М. на протяжении 150—200 *м*—и по рассчитанной по ф-ле Шези $v = c\sqrt{R \cdot i}$ бытовой скорости v нестесненного водного потока (R—подводный радиус, равный $\frac{\omega}{p}$, где p—смачиваемый периметр)—ощупью, путем последовательных приближений подбирают наивысший горизонт воды нестесненного потока перед М.

Экономические соображения заставляют назначать отверстия сооружений меньшими, чем они требуются шириной нестесненного потока. Такое стеснение потока создает у сооружения подпор и увеличивает скорость протекания воды через его отверстие. Подпор не должен вызывать недопустимого затопления окружающей местности, а увеличение скорости воды—опасные размывы русла. Отверстие b открытого мостика или трубы, работающей без напора, определяется по следующим ф-лам:

$$b = \frac{Q \cdot g}{\mu \cdot v^3}; \quad \eta = \frac{v^2}{g}; \quad y = 1{,}5\,\eta - k.$$

Здесь g—ускорение силы тяжести, 9,81 *м/сек²*; v—средняя скорость в отверстии сооружения ($v = 0{,}15 \div 6{,}60$ *м/сек* в зависимости от рода грунта русла или типа его укрепления); μ—коэф-т расхода, зависящий от формы и конструкции входных частей сооружения ($\mu = 0{,}75 \div 0{,}90$); η — глубина потока в отверстии сооружения в *м*; y—глубина потока перед входом в сооружение в *м*; $k = \frac{v_0^2}{2g}$ — высота, соответствующая скорости v_0 подхода воды к сооружению. Подпор перед сооружением определяют из ф-лы (в *м*):

$$z = y - a,$$

где a—наибольшая бытовая глубина нестесненного потока в *м*. Вычисленное отверстие признается приемлемым, если величины v и z не превосходят допускаемых пределов. Кроме того д. б. соблюдены установленные нормы возвышения подпорного горизонта относительно бровки насыпи, низа ферм М. и пят сводов в трубах, а также предельного заполнения сечения труб. Отверстия труб круглого сечения, работающих под напором, рассчитываются по ф-ле:

$$h = \left(1{,}5 + 0{,}02\,\frac{l}{d}\right) \cdot \frac{v^2}{2g},$$

где h — высота напора над центром выходного отверстия трубы в *м*, l—длина трубы в *м*, d—диаметр трубы в *м*, v—допускаемая скорость в выходном конце трубы в *м/сек*. Величина h д. б. рассчитана из условий: а) обеспечения скопления перед трубой воды за 2-часовую продолжительность ливня, дающего максимальный расход потока, до горизонта, не превышающего h; б) непревышения в выходном русле заданной скорости; в) затопления окружающей местности не свыше назначенных пределов; г) недостижения горизонтом скопившейся воды установленных норм до бровки насыпи.

2. М. б о л ь ш о г о о т в е р с т и я. Наиболее сложную и ответственную часть общей задачи расчета отверстия большого М. представляет установление наибольшего расхода реки. Применяемые для этого средства можно распределить на 3 группы. а) Формулы и таблицы, дающие непосредственно наибольший расход реки или же площадь живого сечения под М.,—это упомянутые выше ф-лы Ишковского, таблицы Белинского, Дюфура и т. п.; все они б. или м. справедливы для тех районов и условий, для к-рых они выведены, но в общем могут служить лишь для предварительных подсчетов. К этой же группе относится получивший в последнее время в СССР популярность предложенный инж. Каншиным расчет по так наз. способу гидравлических эквивалентов. б) Ф-лы, построенные на установленной опытом зависимости между расходом Q и соответствующим ему горизонтом h воды в реке. Эта зависимость выражается обычно ф-лой параболического вида:

$$Q \cdot p = (h - b)^2$$

или более сложной:

$$Q = a + bh + ch^2.$$

Численные коэф-ты a, b, c и p определяются из непосредственных измерений расхода на месте (о способах измерения—см. *Гидрометрия*). Точность этих формул зависит от точности определения входящих в них постоянных коэф-тов, для чего необходимо измерение возможно большего числа расходов реки при различных горизонтах, в том числе обя-

зательно при горизонтах, близких к наивысшему. Численная величина коэф-тов вычисляется из данных наблюдений по методу наименьших квадратов. Наибольший расход определяется по приведенным формулам путем подстановки в них значений коэфициентов и наивысшего наблюденного когда-либо (так наз. «исторического») горизонта воды в реке; этот метод в настоящее время признается наиболее точным, и применение его для больших рек считается обязательным. в) Третья группа ф-л имеет целью определение средней скорости течения воды в реке; зная эту скорость, можно умножением ее на измеренную в натуре площадь поперечного сечения реки определить расход воды в последней. Средняя скорость при наивысшем истор. горизонте определяется по приводившейся выше ф-ле Шези: $v = c\sqrt{Ri}$. Величины R и i определяются непосредственным измерением на месте, причем для последнего по данным наблюдений устанавливается закон изменения уклона в зависимости от горизонта воды в реке. Наибольшую трудность представляет определение коэф-та c—сопротивления русла движению воды. Формул для этого предложено множество: таковы напр. ф-лы Маннинга, Гангилье и Куттера, Базена, Сидека, Германека, Матакевича, универсальная формула Биля и ряд других. Наилучшими и наиболее оправданными практикой в настоящее время являются:
ф-ла Базена

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

и ф-ла Гангилье-Куттера

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}}.$$

Величины γ и n (коэф-ты шероховатости русла) определяются по специальным таблицам; в зависимости от степени гладкости стенок русла, правильности его, чистоты и т. п. они берутся: $\gamma = 0{,}06 \div 1{,}75$ и $n = 0{,}010 \div 0{,}050$. Для возможно более точного определения γ и n величины их вычисляются по данным непосредственных измерений на месте, по возможности при нескольких горизонтах. Описанный способ определения наибольшего расхода для больших рек применяется только в виде исключения, когда для применения второго метода нехватает данных от наблюдений и нет времени эти данные пополнить. Для рек средних и малых применение его обычно.

Задача определения отверстия М. сводится к установлению такого минимального отверстия, к-рое, с одной стороны, потребовало бы минимум затрат на постройку самого сооружения, а с другой—беспрепятственно пропускало бы максимальный расход реки, не вызывая ни чрезмерных поверхностных скоростей, препятствующих судоходству (нормально 1,5 и как предел 2,00 *м/сек*), ни чрезмерных скоростей по дну, могущих вызвать опасный размыв дна, ни величины подпора, могущей вызвать чрезмерное затопление окружающей местности. Отверстие М. определяется из уравнения $Q = \mu \cdot v \cdot \omega$, где Q—наибольший расход и v—средняя скорость в отверстии моста, μ—коэфициент расхода (от 0,75 до 0,90), зависящий от формы речных быков и величины пролетов моста, и ω—необходимая площадь живого сечения под М. Так как величины ω и v являются неизвестными, зависящими друг от друга, то решение уравнения производят методом последовательных приближений; обычно задаются размерами отверстия и проверяют допустимость получающихся скоростей, подпора и размывов. Размеры отверстия моста могут назначаться в предположении: а) размыв дна русла недопустим и б) размыв этот допустим. Первый случай может иметь место, когда грунт русла водотока настолько прочен, что размыв невозможен, или когда опоры сооружения не имеют глубоких оснований. В отсутствии размыва предел уменьшения живого сечения определяется величиной получающихся скоростей и подпора. Второй случай имеет место обычно при слабых, легко размываемых грунтах русла. Глубина размыва назначается, с одной стороны, из расчета не слишком глубокого и потому неэкономного заложения опор, которые в этом случае, вообще говоря, устраиваются на дорогих искусственных основаниях (кессоны, опускные колодцы), а с другой—такая, чтобы подпор перед М. не вызывал до образования размыва чрезмерных скоростей. Расчет в этом случае основан на предположении, что размыв будет продолжаться до тех пор, пока средняя бытовая скорость потока после размыва не сравняется со скоростью в нестесненном потоке, и на том, что величина размыва пропорциональна глубине. Предел стеснения реки М. ограничивается здесь величиной допускаемого размыва, к-рая, во избежание чрезмерного искажения режима реки вследствие постройки М., обычно не д. б. более 50—60% первоначальной глубины реки; на судоходных реках предел этот снижается до 30%. Для уменьшения размыва грунт под М. также на некотором протяжении выше и ниже его обычно срезается до горизонта межени.

Выбор системы М. Система М. в первую очередь зависит от его материала, выбор которого определяется назначением М., величиной перекрываемых пролетов, местными условиями (высоты М., свойства грунта и пр.), эстетич. требованиями и общей экономичностью сооружения. Дерево лучше всего сопротивляется изгибу, затем сжатию и хуже всего растяжению. Этим определяются наивыгоднейшие формы деревянных М.—простые балочные, подкосные, отчасти подкосно-арочные системы. Деревянные балочные М. со сквозными фермами больших пролетов применяются на ж. д. гл. обр. как временные; на обыкновенных дорогах они, в силу необходимости, при недостатке более подходящих материалов, еще довольно широко распространены. Практически предельная величина их пролета определяется конструктивной возможностью создания хорошего узла; выше 40 *м* это уже затруднительно. Камень и бетон хорошо сопротивляются только сжатию; этим всецело определяется свойственная им область применения

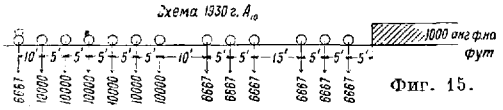
в арочных М. До недавнего сравнительно времени тормозом к увеличению пролета каменных М. служило в сущности неуменье рассчитывать своды. До конца 19 в. всякий б. или м. значительный каменный М. был подлинным произведением искусства и таланта его строителя. Только с введением в расчет представления о своде как об упругом теле и с введением новых приемов постройки больших сводов предельный пролет свода ограничивается теоретически—прочным сопротивлением камня раздроблению, а практически—стоимостью кружал и подмостей, непомерно растущей с увеличением пролета свода, а также возможностью устройства не очень сложных фундаментов опор. Область применения железобетона, благодаря его способности сопротивляться кроме сжатия также изгибу и отчасти растяжению, охватывает кроме арочных также балочные мосты, правда, практически в массе только малых пролетов. Главной сферой применения железобетона остаются арки и своды, в к-рых благодаря его специфич. особенностям м. б. осуществлены конструкции, недоступные для камня и бетона (напр. арка с затяжкой), и созданы совершенно новые, свойственные только железобетону формы (напр. коробчатые своды). Наибольшую область применения имеет железо (сталь), одинаково хорошо сопротивляющееся как сжатию, так и изгибу. Только железу свойственна такая форма, как висячие М., и только оно позволило во всех типах М. осуществить наибольшие пролеты.

Балочные системы имеют то серьезное преимущество перед распорными (арочными и висячими), что они жестки сами по себе, независимо от опор, что напр. для ж.-д. М. имеет важное значение, на зато балочные системы всегда несколько тяжелее распорных. Из балочных систем разрезная балка тяжелее всех других, но работа ее наиболее определенна, она проще других и лучше всего приспособлена к восприятию тяжелой ж.-д. нагрузки. Неразрезные балки легче разрезных, требуют менее толстых опор, не имеют неизбежного в разрезных балках резкого перегиба линии прогиба на опоре, что вызывает удары при проходе колес, особенно резко сказывающиеся на ж.-д. М.; но неразрезные балки весьма чувствительны к влиянию $t°$ и к осадкам опор, почему требуют хорошего грунта в основании. Консольные М. легче разрезных, требуют менее толстых опор, но имеют перегиб линии прогиба в шарнирах, особенно вредный, т. к. он имеет место в пролете; консолям в металлических М. трудно придать нужную жесткость, столь необходимую в ж.-д. М. Недостатки эти уменьшаются с увеличением пролета, почему при больших пролетах консольные М. рациональны и для железных дорог. Жесткость распорных систем зависит от неизменяемости расстояния между точками их опоры; отсюда ясна вся важность действительного осуществления этой неизменяемости. Наиболее жесткими и следовательно наиболее пригодными для ж.-д. М. являются бесшарнирные арки; но зато они наиболее чувствительны к осадкам опор и изменению $t°$, что при таком материале, как металл, может иногда сделать их невыгодными; настоящая область их применения—каменные и железобетонные М. Двухшарнирные арки тяжелее бесшарнирных, но менее чувствительны к осадкам опор и колебаниям t; чаще всего двухшарнирные арки устраивают металлическими. Трехшарнирные арки—наиболее тяжелые и имеют перегиб линии прогиба в среднем шарнире—недостаток, отсутствующий в двух предыдущих системах; попоэтому трехшарнирные арки являются нерациональными для ж.-д. М; зато они совершенно нечувствительны к осадкам опор и воздействиям $t°$. В М. под обыкновенную дорогу, где недостатки трехшарнирных арок менее существенны, они применяются широко. Висячие М. наиболее экономичны, так как металл в главных элементах ферм, а в вантовых фермах даже во всех элементах, работает наиболее выгодно—только на растяжение. Но зато они наименее жестки, что делает их для ж. д. непригодными. Типичная область их применения—городские М. больших пролетов. Комбинированные системы, вообще говоря, всегда тяжелее простых. В большинстве случаев появление их объясняется эстетическими соображениями, почему они и применяются гл. обр. в городских М., но в ряде случаев существование их оправдывается и технически, как напр.—арка с затяжкой, цепь с балкой (современный тип громадного большинства висячих М.) и нек-рые другие.

Лит.: Николаи Л., Мосты, вып. 1, СПБ, 1901; его же, Краткие историч. данные о развитии мостового дела в России, СПБ, 1893; Черепашинский М., Очерк истории мостов, ч. 1, деревянные и каменные мосты, М., 1898; Стрелецкий И., Ж.-д. мост за сто лет, «Труды Научно-техн. комитета НКПС», М., 1925, вып. 20; его же, Курс мостов, Москва, 1925; Mehrtens G., Eisenbrückenbau, B. 1—3, Lpz., 1908—1923; Hartmann J., Aesthetik im Brückenbau, Wien—Leipzig, 1928; Resal J., Ponts métalliques, t. 1, Paris, 1923; Melan J., Der Brückenbau, B. 1—3, W.—Lpz., 1922; Schaper G., Eiserne Brücken, 5 Aufl., B., 1922; Bernhard K., Eiserne Brücken, B., 1911; Godard M., Ponts et combles métalliques, Paris, 1924; Handb. Ing. T. 2—Der Brückenbau, 1907—25; Wadell J. A., Bridge Engineering, v. 1—2, New York, 1916—21; Kunz F., Design of Steel Bridge, New York, 1915; Merriman M., American Civil Engineers Handbook, N. Y., 1920; Kersten C., Brücken in Eisenbeton, T. 1, 3, Berlin, 1908—1928; Handb. f. Eisenbetonbau, hrsg. v. F. Emperger, B. 7, B., 1921; Spangenberg H., Eisenbeton-Bogenbrücken f. grosse Spannweiten, B., 1924; Gay, Ponts en maçonnerie, P., 1925. **М. Холшевников.**

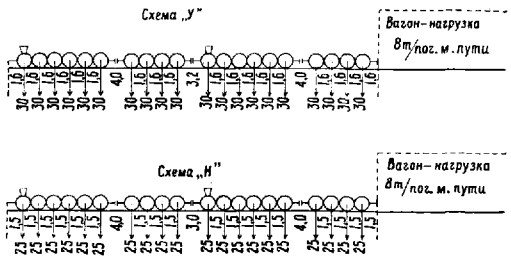
Внешние силы в М. Внешние силы, или нагрузки, на действие к-рых рассчитывается М., разделяются на постоянные и временные. Постоянной нагрузкой являются напр. собственный вес моста, давление земли на устои и т. д. Величина постоянной нагрузки м. б. точно определена по готовому проекту; при предварительном расчете она назначается по приблизительным ф-лам или из примеров существующих сходных М. Наоборот, временная нагрузка не м. б. установлена сколько-нибудь точно, а потому величина ее нормируется технич. условиями, обязательными для расчета. Во всех странах кроме США нормы временных нагрузок устанавливаются правительственными распоряжениями. Временными нагрузками являются: а) полезная нагрузка, для пропуска которой строится М., б) нагрузка от ветра, в) действие $t°$ и г) нагрузка от де-

формации М. (усадка бетона, осадка опор и т. д.). Все виды временной нагрузки кроме первой м. б. установлены на основе метеорологич. наблюдений [(б) и (в)] и технич. экспериментов (г); полезная же нагрузка определяется преимущественно экономич. предпосылками развития транспорта на предстоящий период службы М., т. к. М. должен



Фиг. 15.

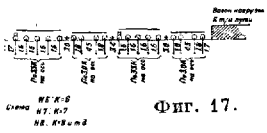
выдерживать всякую нагрузку, могущую появиться за нормальный срок его существования. Поэтому полезная расчетная нагрузка должна содержать известный запас на случай роста действительных нагрузок, причем величина этого запаса диктуется экономическими соображениями и в свою очередь определяет собой срок службы моста. В США запас вносится не в величину нагрузки, а в величину допускаемых напряжений: расчет ведется там на нагрузку, близкую к существующей, но под пониженные напряжения (что по существу равноценно). При назначении расчетной полезной нагрузки следует стремиться: 1) к реальности выбранного типа паровоза, автомобиля и т. д., 2) к простоте расчетной схемы нагрузки (округленные длины и весá грузов и т. д.) и 3) к созданию сравнимых между собой стандартных схем, позволяющих классифицировать М. по их подъемной силе. Это последнее требование всего удобнее выполнить, приняв единую геометрич. схему нагрузки и меняя для разных классов М. лишь величины нагрузок в определенном постоянном соотношении. Такой принцип принят в США, где еще в 90-х гг. прошлого столетия была установлена единая схема нагрузок (т. н. схема Купера). Ныне эта схема устарела и заменяется более современной, но также стандартной (фиг. 15). В этих схемах номера соответствуют числу тысяч англ. фн. в цифре осевой нагрузки паровоза. В связи с ростом нагрузок расчетные нормы периодически заменяются новыми. У нас нормы



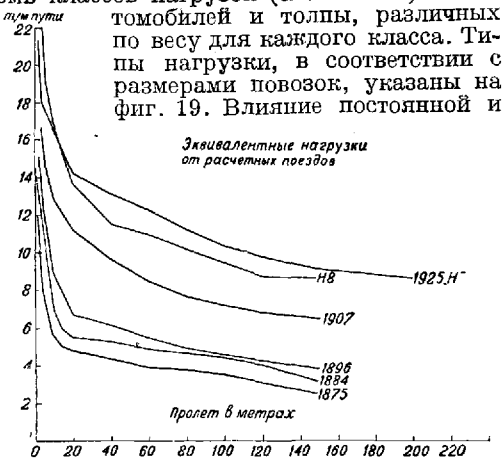
Фиг. 16.

нагрузки для ж.-д. М. впервые были установлены в 1875 г. и сменялись новыми в 1884, 1896, 1907, 1921, 1925 и 1930 гг. (временные). Новейшие нормы подразумевают обычно несколько схем нагрузок для различных типов дорог. Нормы 1925 г. предлагали несколько схем, а именно (фиг. 16): «схему «У» для сверхмагистралей, схему «Н» для магистралей обычного типа, схему «О» для второстепенных линий. Временные нормы 1930 г. (фиг. 17) дают только одну схему, но предусматривают несколько пропорциональных нагрузок, т. е. отвечают тому же принципу, к-рый принят в стандартных американских нормах. В основу норм 1930 г. положена прежняя америк. схема Купера. Коэф-т пропорциональности в этих схемах выражается индексом при названии схемы: H_8, H_7, H_8 и т. д. Схема H_7 по интенсивности близка к схеме «Н» 1925 г.

Сравнение расчетных нагрузок обычно производится по эквивалентным нагрузкам (см. *Линии влияния*), откладываемым в функции пролета на графике (фиг. 18); при этом эквивалентные нагрузки подсчитываются для наибольших изгибающих моментов в середине пролета. Расчетными нагрузками для шоссейных М. являются веса


Фиг. 17.

грузовиков, трамвайных вагонов и толпы людей; сообразно с назначением М. принимаются различные интенсивности этих нагрузок. В СССР расчетные нагрузки для шоссейных мостов устанавливались в 1891, 1906, 1913, 1922 и 1927 годах. Нормы НКПС 1927 года подразумевают, в зависимости от дорог, семь классов нагрузок (см. табл. 1) из автомобилей и толпы, различных по весу для каждого класса. Типы нагрузки, в соответствии с размерами повозок, указаны на фиг. 19. Влияние постоянной и

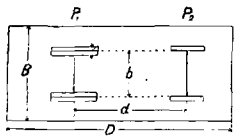


Фиг. 18.

временной полезной нагрузки на М. различно и по величине и по природе. С ростом пролета М. погонная постоянная нагрузка увеличивается, а погонная временная уменьшается, стремясь к некоторому пределу. Для каждого материала существует поэтому граница для величины пролета, за которой постоянная нагрузка получает преобладающее значение для расчета и работы мостов. Так как характер воздействия постоянной нагрузки более благоприятен, чем временной (см. ниже напряжения в М.), то это обстоятельство сильно облегчает проектирование мостов больших пролетов и их работу.

Ветровая нагрузка на М. назначается по наибольшему урагану, могущему иметь место в данной области. В СССР ветровые нагрузки назначаются по единым нормам строительного проектирования в зависимости от положения моста, т. е. возвышения моста над уровнем реки и укрытости местности от

действующих ветров. Для типового проектирования практикуются прежние нормы ветровой нагрузки, а именно 150 и 250 *кг/м²*. Меньшая цифра принимается для случая загружения М. подвижной нагрузкой, а большая—в отсутствии подвижной нагрузки, так как при давлении ветра выше 150 *кг/м²* движение поездов и экипажей становится невозможным. Цифры эти соответствуют урагану исключительной силы; необходимость принимать в расчет такие ураганы оправдывается рядом катастроф: так например М. через Тэйский пролив в Шотландии в 1879 г. обрушился во время прохода поезда при давлении ветра 210 *кг/м²*. Такой же силы ветер наблюдался в СССР в 1929 г. Действие ветра на мосту учитывается приближенным способом, причем определение ветровой поверхности М. ведется по условным коэф-там, определяемым из опыта. Действие снега на М. по нашим нормам вовсе не учитывается; однако в горных местностях, как показывает опыт Швейцарии, с ним приходится считаться. Температурные воздействия следует учитывать: 1) для всех М., статически неопределимых относительно опор, и 2) для случая неравномерного нагрева отдельных частей для М., внутренне статически неопределимых. Колебания $t°$ принимаются по нашим нормам в пределах от $+40°$ до $-40°$; неравномерный нагрев принимается в 15°. Осадка опор учитывается в М., статически неопределимых относительно опорных реакций. Производными нагрузками являются силы, вызываемые условиями прохождения подвижной нагрузки, как то: 1) сила торможения, принимаемая в 0,15 веса нагрузки, причем учитывается $^1/_4$ общего числа вагонов на мосту; 2) центробежная сила на мостах, расположенных в кривых, принимаемая в 10% веса нагрузки; 3) горизонтальные удары подвижного состава, принимаемые по нашим нормам для ж.-д. М. в 7 *т*.



Фиг. 19.

Табл. 1.—Классы нагрузки, в соответствии с размерами автомобилей.

Обозначения	Классы нагрузки								
	0	0	1	1	2	3	4	5	6
B . .	3,0	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,4
D . .	8,6	7,6	7,6	7,6	7,0	7,0	7,0	6,0	5,0
d . .	4 3	3,8	3,8	3,8	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5
r . .	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4
P_1*1 .	14	11	11	7	5,6	4,2	2,8	1,9	0,9
P_2*1 .	6	4	4	3	2,4	1,8	1,2	0,8	0,6
n*2. .	1	2	1	2	2	2	2	2	2
m*3 .	1	3	1	3	3	2	2	3	1
q_1*4 .	400	300	400	300	400—300	350—250	300—250	200	200

*1 Давление осей. *2 Число рядов автомобилей. *3 Число автомобилей в ряду. *4 Нагрузка от толпы в *кг/м²*.

Напряжения в М. А. Классификация напряжений. М., как и другие инженерные сооружения, рассчитывают, исходя из величин напряжений, появляющихся в их частях под действием внешних сил. С точки зрения расчета можно различать три рода напряжений: 1) Напряжения основные имеют место в расчетной статич. схеме (плоской стержневой ферме с шарнирными узлами, сплошной балке, пространственном рамном каркасе и т. д.). При расчете основных напряжений учитываются только нормальная сила в стержнях ферм, изгиб в балках и рамах и т. д. Эти напряжения обусловливают основные деформации стержней, являющиеся для работы М. наиболее важными. 2) Напряжения дополнительные учитывают добавочное действие изгибающих либо крутящих моментов в стержнях, работающих на продольную силу, и действие продольной силы в балках, работающих на изгиб стержней от жесткости клепаных узлов, напряжения в продольных балках проезжей части от удлинения поясов фермы и т. д. 3) Напряжения местные обусловливаются действительной, а не схематич. работой М. и появляются в отдельных точках М. вследствие местного несоответствия работы части М. с расчетом; они возникают напр. от наличия отверстий в металле (в металлич. М.), входящих углов, местных пороков, сучков, болтов и т. д. Базой для проектирования М. служат только основные напряжения; остальные виды напряжений обычно не учитываются при расчете, покрываясь запасом прочности (см. ниже). Упомянутое разделение напряжений является условным, так как определяется степенью точности расчета. Более логична классификация напряжений по характеру воздействия на сооружение внешних сил. В М. различают: 1) напряжения постоянные, действующие в М. без изменения с момента постройки и до момента разборки или перестройки; таковы напряжения от действия собственного веса М.; 2) напряжения временные, возникающие в М. при действии временной нагрузки (поезд, автомобиль и т. д.); 3) напряжения повторные, имеющие временную природу, но характеризующиеся многократностью их появления; таковы напряжения, вызываемые колебаниями моста (см. ниже) в целом или отдельной его части. Если полуамплитуда таких колебаний напряжений больше, чем напряжений от постоянной нагрузки, то полные напряжения принимают характер знакопеременных. Повторные напряжения появляются при действии на М. периодич. нагрузки (бегущая лошадь, неуравновешенный паровоз, удары вагонных колес по рельсовым стыкам и т. д.).

Б. Действительные напряжения. Расчет М. по напряжениям возможен только в том случае, если расчетные величины напряжений мало отличаются от действительных. Опыты исследования М. показывают, что действительные основные напряжения почти всегда несколько ниже расчетных; последнее объясняется существованием в мостах так наз. областей пониженного напряжения, т. е. частей, не учтенных при расчете, но разгружающе влияющих на основные напряжения. Таковы напр. накладки в металлич. М., поперечные ребра в железобетонных М. и т. д. Далее, разгружающей причиной являются соучастие пространственных связей и проезжей части, не учтенных расчетом плоской схе-

мы, и влияние жесткости узлов. Отношение действительных основных напряжений к расчетным называется конструктивной поправкой; название подчеркивает природу этого коэф-та. В табл. 2 приведены средние типичные значения конструктивных поправок для различных частей М.

Табл. 2.—Конструктивные поправки для различных частей М.

Тип М.	Материал М.	Часть М.	Поправка
Балочные, с ездой понизу, спроектированные до 1910 г.	Железо	Нижний пояс	0,75
		Верхний »	0,85
		Раскосы	0,6—1,0
То же, спроектированные после 1920 г.	»	Нижний пояс	0,90
		Верхний »	1,0
		Раскосы	0,9—1,1
Балочные	Железобетон	Ребра	0,3—0,5

Поправки эти в новых металлич. М. заметно выше, чем в старых; это объясняется тем, что в новых М. мощность отдельных стержней настолько велика, что работа ферм почти точно соответствует шарнирной схеме. В старых М. со слабыми и часто расположенными стержнями влияние жесткости узлов и пространственная разгрузка сильно понижают напряженность стержней. Пониженная напряженность нижних поясов сравнительно с верхними в мостах с ездой понизу объясняется разгружающим влиянием проезжей части. В М. с ездой поверху это явление носит обратный характер. В железобетонных М. конструктивные поправки гораздо ниже; в них неточность теории и неизбежная неоднородность материала заставляют вводить запас прочности не только в напряжения, но и в расчет и конструкцию. Однако наличие 2—3-кратного конструктивного запаса мало оправдано технически и экономически; поэтому производство опытных исследований железобетонных М. обещает привести к изменению конструкций в сторону более полного использования материала. Действительные дополнительные напряжения в металлич. М. обычно составляют не более 20—40% основных напряжений; местные же напряжения могут превосходить основные в несколько раз. Действительные дополнительные и местные напряжения в массивных и деревянных М. еще недостаточно изучены.

В. Допускаемые напряжения и коэфициент безопасности. Допускаемые напряжения зависят помимо упругих свойств материала и от рода работы, к-рую несет данная часть М., и от экономич. условий. Основное стремление при назначении допускаемых напряжений состоит в придании всем частям М. равной прочности, т. е. в соблюдении равенства запаса безопасности. Поэтому при одном и том же материале допускаемые напряжения м. б. различны для разных частей М. и для разных случаев загружения. Если бы было возможно установить полную тождественность между расчетным и действительным М., т. е. вполне точно учесть: 1) все возможные действующие на М. в каждый момент комбинации внешних сил, 2) распределение внутренних усилий и напряжений в частях М. и 3) все отклонения материала от предполагаемого расчетом вполне однородного упругого материала, следующего закону Гука, то оставление запаса было бы излишним и допускаемые напряжения могли бы назначаться равными пределу пропорциональности или даже пределу текучести. В действительности все три обстоятельства м. б. учтены лишь приближенно, а потому и приходится оставлять запас прочности, служащий для покрытия расхождения между расчетом и действительностью. Этот запас зависит от способа расчета: чем точнее метод расчета и чем большее число обстоятельств принято им во внимание, тем меньший нужен запас. Коэф-т запаса иногда неправильно называют коэф-том незнания; в действительности вполне известно, что именно призван покрывать запас безопасности, и он назначается сознательно — для облегчения расчетной работы, так как точный учет всех обстоятельств работы М. очень труден, а подчас и невозможен.

Величины допускаемых напряжений в М., а следовательно и коэфициента безопасности определяются: 1) факторами, зависящими от внешней нагрузки, и 2) факторами, зависящими от характера работы данной части М. Чем большее число внешних сил учтено расчетом М., тем меньший запас нужен для покрытия сил, оставшихся не учтенными. При расчете М. задаются тремя прогрессивно возрастающими числами допускаемых напряжений для случаев действия: 1) вертикальной нагрузки (постоянной и временной); 2) вертикальной нагрузки и силы ветра и 3) вертикальной нагрузки, силы ветра и действия $t°$. В наших нормах приняты две градации: меньшая цифра назначается для действия т. н. основных нагрузок, а бо́льшая—для нагрузок основных и дополнительных, причем разделение нагрузок по типам проведено для разных частей моста поразному. Факторами, зависящими от работы М. и влияющими на понижение допускаемого напряжения, т. е. на увеличение запаса, являются: гибкость стержней, работающих на продольное сжатие, восприимчивость М. в целом и отдельных его частей к динамич. воздействию подвижной нагрузки и амплитуда колебания повторных напряжений. Первый фактор учитывается введением коэфициента гибкости, определяемого по ф-лам (для продольного изгиба) Эйлера, Тетмайера, Навье и др., второй—введением динамич. (ударного) коэф-та, третий—применением одной из формул усталости материала (см. ниже): Велера, Вейрауха, Лаунгарта и др. Учет последнего фактора распространяется только на металлические М. Эти факторы могут учитываться и одновременно. Собственно говоря, второй и третий факторы должны приниматься во внимание при расчете каждой части М. Понижение допускаемых напряжений, обусловленное учетом этих факторов, может производиться одним из двух способов, к-рые впрочем практически эквивалентны: 1) понижающий множитель вводится в величину основного допускаемого напряжения, а внешние силы предполагаются приложенными статически

и однократно; 2) при сохранении постоянного значения допускаемого напряжения, в действующие усилия вводится множитель, обратный предыдущему. Второй способ логичнее и удобнее первого, так как дает возможность непосредственного сравнения запаса прочности в различных частях М. и сравнения расчетных напряжений с действительными; этот способ принят в СССР.

Величина запаса прочности или безопасности в М. определяется как отношение нек-рого естественного предельного напряжения к допускаемому. За такой естественный предел можно принять временное сопротивление материала моста. Отношение этого временного сопротивления к наибольшему основному напряжению М. называют коэфициентом прочности. Запас прочности покрывает дополнительные и местные напряжения. За этот предел можно принять и предел текучести, как такое напряжение, при к-ром часть М. выбывает из работы от чрезмерных ее деформаций. Отношение предела текучести к расчетному напряжению называется коэф-том безопасности. Введение в расчет коэф-та безопасности возможно только в материалах, где имеется определенно выраженный предел текучести (литое железо и сталь). В отличие от коэф-та прочности, коэф-т безопасности покрывает только дополнительные напряжения, т. к. местные перенапряжения часто превосходят предел текучести, что не отражается на общей работе стержня, обусловленной основными напряжениями. В статически неопределимых системах даже дополнительные напряжения могут превосходить предел текучести, т. к. это ведет только к перенапряжению волокон наиболее сильно работающих частей, благодаря чему происходит перераспределение усилий, в результате которого напряжения в перегруженной части понижаются (это относится только к такому вязкому материалу, как литое железо и др.). Коэф-т безопасности слагается из двух частей: 1) коэф-та общей безопасности, покрывающего неточность расчета и расхождение его с действительной работой М., и 2) коэфициента специальной безопасности, учитывающего особые категории опасности для различных частей М. с целью придания им равнопрочности. Средние обычные значения коэфициента прочности в М. из разных материалов следующие: металлич. М. 3—3,5 (коэф. безопасности обычно 2), деревянных М. 5—8, каменных 15—20, бетонных 5—8. К величине запаса прочности или безопасности М. возможен также чисто экономич. подход: ее можно считать стоящей в прямой связи с предполагаемым остающимся сроком службы М. С сокращением его возможно уменьшение запаса, т. е. повышение риска. Этот подход теоретически дает возможность более полного использования материала, практически же встречается с затруднениями в определении как остающегося срока службы, так и степени возможного увеличения риска при эксплоатации М.

Г. Факторы понижения допускаемых напряжений, зависящие от работы самого М. а) Продольное сжатие. Опасность продольного сжатия особенно велика для стержневых М. и прежде всего для металлических, т. к. сжатые стержни получают сравнительно небольшие поперечные размеры. Расчетные ф-лы продольного сжатия имеют место для двух случаев: 1) Критическое напряжение на продольное сжатие ниже предела упругости. Этот случай возможен для гибких стержней с большой величиной $l:r$— отношения длины l к радиусу инерции сечения r; ему вполне отвечает ф-ла Эйлера:

$$\sigma_{кр.} = \frac{\pi^2 E r^2}{\mu l^2}, \qquad (1)$$

где E—модуль упругости материала, а μ— коэф-т, учитывающий концевые условия закрепления стержня. 2) Критич. напряжение выше предела упругости. Это имеет место у мощных стержней, при низких значениях $l:r$ (для железа и дерева при $l:r<100$); этому случаю б. или м. удовлетворяют эмпирич. ф-лы Тетмайера, Ясинского и др., дающие линейную зависимость критич. напряжения от величины $l:r$. Ф-ла Ясинского для железных стержней имеет вид:

$$\sigma_{кр.} = 33{,}8 - 0{,}14\frac{l}{r}\ кг/мм^2. \qquad (2)$$

Более логично в металлич. М. за критич. напряжение в этом случае принимать предел текучести, т. к. при пределе текучести стержни получают резкие деформации, т. е. выбывают из строя. На этой точке зрения стоят наши и герм. нормы. Переход от случая 1 к случаю 2, совершается, по нашим нормам, при помощи параболич. переходной кривой. Следует отметить, что явление продольного изгиба у мощных стержней происходит почти исключительно путем выпучивания отдельных частей сечения в отличие от тонких стержней, испытывающих общую деформацию, поэтому запас безопасности характеризуется здесь коэф-том безопасности. Сообразно с уменьшением критич. напряжения, в зависимости от $l:r$, следует для сохранения равенства запаса безопасности во всех случаях понизить и допускаемые напряжения. Понижение это устанавливается коэф-том $\varphi'<1$, на к-рый надо умножить допускаемое напряжение или, что то же, делить расчетное усилие. Коэф-т φ' определяют из условия равенства запаса безопасности для случаев растяжения и сжатия, т. е.

$$\sigma_{доп.} = \sigma_{кр.}\frac{R_0}{R},$$

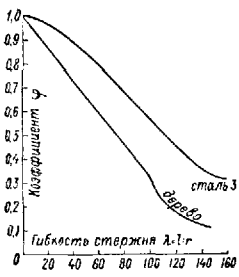
и

$$\varphi' = \frac{\sigma_{кр.}}{R}. \qquad (3)$$

Здесь $\sigma_{доп.}$—допускаемое напряжение на сжатие, R_0—основное допускаемое напряжение на растяжение, R—предел текучести при растяжении. Судя по опытам, продольное сжатие, вследствие наличия различных эксцентриситетов и дополнительных влияний, не одинаково опасно для стержней различной гибкости; это учитывается дополнительным коэфициентом φ'', взятым из опыта. В наших нормах, в соответствии с новейшими опытными исследованиями, φ'' имеет наименьшее значение для средних гибкостей. В результате $\sigma_{доп.}$ определяется из следующей формулы:

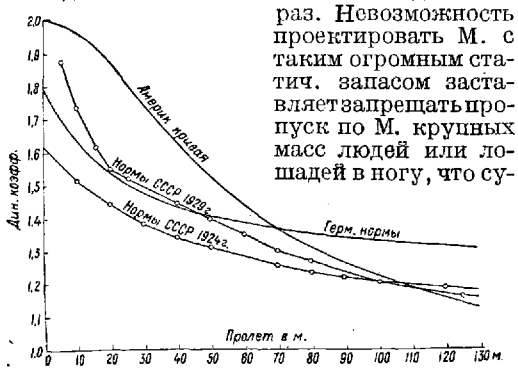
$$\sigma_{доп.} = \frac{\sigma_{кр.}}{R}R_0\varphi'' = R_0\varphi'\varphi'' = R_0\varphi. \qquad (4)$$

Значения величин φ приведены на графике фиг. 20. Явление продольного сжатия в стержневых М. заслуживает тем большего внимания, что известен ряд серьезных катастроф, происшедших из-за продольного изгиба сжатых стержней. В первую очередь следует упомянуть о катастрофе при постройке первого Квебекского М. через р. Св. Лаврентия в Канаде в 1907 г., приведшей к обрушению всего собранного металла в результате продольного изгиба сжатого нижнего пояса и потребовавшей коренной переработки проекта. б) Усталость материала. Это явление, как и предыдущее, имеет преимущественное значение для металлических М. и характеризуется тем, что при повторной нагрузке разрушение может произойти ранее достижения временного сопротивления. Разрушающее напряжение зависит при этом от амплитуды колебания напряжения, т. е. от величины и знака отношения $S_{min} : S_{max}$, где S_{min} и S_{max}—минимальное и максимальное усилия, вызываемые нагрузкой (продольная сила, момент и т. д.). При этом разрушение происходит тем ранее, т. е. после тем меньшего числа смен напряжений, чем выше максимальное напряжение. Зависимость числа колебаний нагрузки при симметричном цикле, т. е. при $S_{min} : S_{max} = 1$, от максимального напряжения, при котором образец выдерживает данное число колебаний, имеет гиперболич. характер, асимптотически приближаясь к так называемому пределу усталости при весьма большом числе колебаний. Если максимальное напряжение ниже предела усталости, то никакое число колебаний нагрузки не доведет образец до разрушения. Предел усталости (выносливости) представляет собою такую же определенную физич. характеристику материала, как предел текучести, предел упругости и т. д. Обычно он $\cong 0{,}5$ временного сопротивления. Т. к. предел усталости лежит ниже предела текучести, то коэф-т безопасности при явлении усталости д. б. отнесен к меньшему из этих двух пределов, вследствие чего приходится идти на дальнейшее снижение допускаемого напряжения. Как правило М. работают на нагрузку переменного повторного характера, но с небольшой величиною амплитуд, вследствие чего влияние усталости может у них проявляться только в отдельных случайно перенапряженных точках. С другой стороны, благодаря существованию постоянной нагрузки, все части М. работают несимметричными циклами, т. е. в условиях $S_{min} : S_{max} > 0$, что еще более затрудняет проявление усталости. В силу этих соображений новые нормы в СССР не вводят специального коэф-та безопасности на усталость металла, в отличие от прежних норм и от норм нек-рых других стран (США, Германия). Последнее, точно так же как пренебрежение местными перенапряжениями, возможно только в вязком материале; между тем металл главн. обр. от дефектов изготовления и влияния нагрузки с течением времени теряет свою вязкость и становится более хрупким (явление старения). Поэтому в старых М. следовало бы вводить еще дополнительный коэф-т безопасности на старение. Однако это обстоятельство нормами не учитывается, имея в виду меньший срок службы старых мостов и меньшее вероятие появления в течение этого срока аварийных событий. Очень часто, в виду последнего обстоятельства, допускаемые напряжения в старых М. даже повышаются. в) Динамическое воздействие нагрузки учитывается введением в расчет коэфициента, определяющего реальное превышение воздействия движущейся нагрузки над ее статич. воздействием; поэтому этот коэф-т только условно может рассматриваться как коэфициент уменьшения напряжения. Следует различать 2 рода динамич. воздействия: 1) ударное и 2) резонаторное. Первое происходит от однократных ударов нагрузки по М.: удары колес подвижного состава по рельсовым стыкам, толчки от неровностей пути или неправильного очертания колес экипажей, наконец конструктивные особенности М., напр. проход нагрузки над шарниром в консольном М. и т. д. Ударное воздействие растет со скоростью и массой нагрузки и падает с увеличением массы М.; поэтому оно имеет преимущественное значение для металлич. М. и может быть оставлено без учета в массивных М. Устройство пути на балласте сильно уменьшает ударное воздействие и в металлических М. Резонаторное воздействие имеет место тогда, когда нагрузка производит ряд периодически повторяющихся ударов, частота которых совпадает с частотой собственных колебаний М. Это возможно например при проходе в ногу группы людей или лошадей, при движении паровоза с неуравновешенными движущимися частями, или при ритмич. ударах равноотстоящих колес поезда по рельсовым стыкам. Скорость движения нагрузки, при к-рой происходит явление резонанса, называется критической. Основными факторами, влияющими на величину резонаторного воздействия, являются: величина периодич. силы, жесткость М. и скорость затухания колебаний (см. выше, колебания М.). Два последние фактора своим увеличением влияют на резонаторное воздействие понижающим образом и зависят от материала, системы и пролета М.: они падают с ростом пролета и значительно выше для массивных, чем для металлич. и деревянных М. Для массивных М. скорость затухания можно считать мгновенной. При неточном совпадении частот внешней силы и собственных колебаний резонанс не имеет места и с увеличением разности частот амплитуды быстро падают. В виду многообразия причин, определяющих динамич. воздействие, точный учет его возможен только путем индивидуального расчета для каждого отдельного М. нагрузки и условий ее прохода по М. Поэтому нормы всех стран рассматривают динамич. воздействие для каждого материала только как функцию пролета. С изменением проле-



Фиг. 20.

та динамич. воздействие изменяется след. образом. 1) В металлич. ж.-д. М. ударное воздействие с ростом пролета резко падает, резонаторное же постепенно увеличивается, давая относительный максимум для средних пролетов (50—100 *м*), так как для них явление резонанса становится возможным при нормальных скоростях движения. Общая зависимость выражается обыкновенно убывающей кривой. Нормативные кривые динамического коэф-та для металлич. ж.-д. М. указаны на графике фиг. 21. В шоссейных М. преобладающее значение имеет резонанс, при к-ром динамич. воздействие может превосходить статическое в несколько десятков раз. Невозможность проектировать М. с таким огромным статич. запасом заставляет запрещать пропуск по М. крупных масс людей или лошадей в ногу, что существенно снижает динамич. коэф-т. 2) Для массивных М. имеет значение только ударная часть воздействия, но и она обычно мала вследствие большой массы М. и наличия балластного слоя. В виду этого вполне возможно было бы вообще не учитывать динамичности нагрузки при расчете массивных М. Наши нормы дают однако и для таких М. (см. ниже) значения динамического коэф-та, падающего с ростом пролета и с увеличением толщины балластного слоя. 3) В деревянных М. динамич. воздействие вообще не учитывают вследствие мягкости дерева, принимая, что скорость движения нагрузки по ним невелика.



Фиг. 21.

Табл. 3.—Значения динамического коэф-та по нормам различных стран.

Страна	Динамич. коэф-т	Название норм
СССР . .	$1+\mu=1+\frac{22}{20+l}$ *1	НКПС 1929 г.
» . .	$1+\mu=1+\frac{3\,000}{5\,000+l^2}$ *2	НКПС 1929 г.
» . .	$1+\mu=1+0{,}625\left(\frac{1}{1+\frac{l}{50}}\right)$	» 1921 г.
Германия	$1+\mu=1{,}19+\frac{21}{46+l}$	1922 г.
Англия .	$1+\mu=1+\frac{120}{90+l}$	Опытные данные
Швеция .	$1+\mu=1+\frac{10}{13+0{,}07l}$	1919 г.
США . .	$1+\mu=1+\frac{300}{300+l}$	1923 г.
» . .	$1+\mu=1+\frac{1}{1+\frac{l^2}{1860}}$	Опытные данные

*1 При $l<20$ *м*. *2 При $l>20$ *м*.

В табл. 3 приведены значения динамич. коэф-та для ж.-д. металлич. М. по нормам различных стран (l—пролет). Во всех этих нормах μ — динамическая добавка, $1+\mu$ — динамич. коэф-т повышения статич. нагрузки. Разнообразие норм является следствием недостаточной изученности вопроса и различия подходов при их назначении.

Д. Нормы допускаемых напряжений для М. в СССР. а) Металлические М. (нормы 1930 года). Основные напряжения назначаются для двух случаев: 1) при действии вертикальной нагрузки, постоянной и временной (умноженной на динамический коэф-т), боковых ударов колес и центробежной силы (в М. на кривой) и 2) при действии тех же нагрузок и кроме того торможения, силы ветра и влияния $t°$. Соответственные напряжения приведены в табл. 4.

Табл. 4.—Нормы допускаемых напряжений для металлических М. в СССР (в *кг*/*см*²).

Случай нагрузки	Марка металла		
	Сталь 3 *1	Сталь 5 *2	Спец. сталь
1	1 400	1 750	2 100
2	1 700	2 100	2 500

*1 По прежней терминологии—литое железо.
*2 Повышенная углеродистая сталь.

Проверка прочности растянутых и сжатых стержней ведется по площади сечения нетто, а для сжатых кроме того по площади брутто, умноженной на коэф-т φ продольного сжатия (см. выше). Сжато-вытянутые стержни проверяют отдельно по наибольшим растягивающему и сжимающему усилиям. Проверка прочности на изгиб ведется по моменту сопротивления нетто. Допускаемое напряжение на скалывание принимается равным 0,75 основного. Допускаемые напряжения в заклепках: на срез 0,8, на смятие 2,0, на отрыв головок 0,6 основного. Выражение динамич. коэф-та, на к-рый следует умножить статич. усилие от временной нагрузки, приведено в табл. 2. б) Деревянные М. Нормы напряжения для деревянных М. 1930 г. не учитывают ни динамики ни усталости; допускаемые напряжения понижаются лишь для случая продольного сжатия. Значения коэф. φ продольного сжатия могут быть определены по графику фиг. 20. Основные допускаемые напряжения приведены в табл. 5.

Эти напряжения повышаются на 20% при применении дерева лучшего качества, на 15% в случае действия горизонтальных сил и на 40% для М. временного характера; понижаются на 18% для частей М., находящихся под водою, и на 20—25% при влажном или сердцевинном лесе. Допускаемое напряжение в сжатых частях принимается равным $R_0\varphi$, где φ определяется из ф-л:

$$\varphi = 1 - 0{,}0069\frac{l}{r}, \text{ для } 5 < \frac{l}{r} < 100$$

или

$$\varphi = \frac{\pi^2 E}{4{,}5 R_0 \left(\frac{l}{r}\right)^2}, \text{ для } \frac{l}{r} > 100.$$

Табл. 5.—Нормы допускаемых напряжений для деревянных М. в СССР (в *кг/см²*).

Направление действия силы	Род напряжений	Сосна *1	Дуб *1
Вдоль волокон	Растяжение	94	110
	Сжатие	85	100
	Скалывание	10	13,5
	Растяжение и сжатие при изгибе	94	110
	Скалывание при изгибе	20	27
	Торцевое смятие	60	85
Поперек волокон	Срезывание перпендик. оси дерева	38	50
	Смятие на ширине больше $^1/_3$ ширины дерева	21	42,5
	Смятие на ширине меньше $^1/_3$ ширины дерева	30	55
	Скалывание тангенциальное	5	7,5

*1 Среднего качества.

в) Каменные и бетонные М. Нормы на сжатие или изгиб не должны превосходить следующие величины (в *кг/см²*):

Кладка из штучного камня получистой тески	65—80
Кладка из грубоколотого камня	50
» » постелистого бутового камня	25—35
» » обыкновенного » »	15—20
» » кирпича	10—13
Бетон	30—40

Для высоких отдельно стоящих столбов и стен при отношении высоты h к ширине b более 3,5 основное допускаемое напряжение умножается на коэф. $\varphi = 0{,}4 + \frac{2b}{h}$. Наибольшее растягивающее напряжение не должно превосходить: для каменной кладки 2 *кг/см²*, для бетона 3,5—5 *кг/см²*. В случае учета $t°$ и усадки бетона допускаемые напряжения повышаются при сжатии на 30%, а при растяжении—до 5 *кг/см²* в каменных сводах и до 10 *кг/см²* в бетонных. г) Железобетонные М. Допускаемые напряжения даны для двух марок бетона, характеризующихся временным сопротивлением через 28 дней (пластичный и литой, в условиях постройки): марки I 130 *кг/см²* и марки II 110 *кг/см²*. Допускаемые напряжения в зависимости от указанных марок бетона приведены в табл. 6.

Табл. 6. — Допускаемые напряжения для бетонных М. в СССР (нормы 1930 г.).

Марка бетона	Основное осевое сжатие при $\frac{l}{h}<15$ *1	Основное сжатие при изгибе *2		Растяжение осевое	Главное растягивание при изгибе *3
		для основных нагрузок	для всех нагрузок		
I	50	60	85	12	3,5
II	45	50	70	10	2,5

*1 При $l:h>15$ необходима проверка на продольный изгиб, умножая допускаемое напряжение на коэф. $\varphi = \frac{1}{1+0{,}0001\left(\frac{l}{r}\right)^2}$. *2 Основными нагрузками считаются: вертикальная, горизонтальная и нагрузка от $t°$-ного расширения. При учете усадки бетона берется напряжение второй графы (для всех нагрузок). *3 И не более 12 *кг/см²*, даже при наличии арматуры.

Для литого железа в арматуре железобетонных мостов допускается напряжение на растяжение и сжатие в 1250 *кг/см²* при действии основных нагрузок и 1600 *кг/см²* при действии всех нагрузок. Динамич. воздействие учитывается динамич. коэф-том, значения которого приведены в табл. 7.

Табл. 7.—Значение динамического коэфициента по нормам СССР.*

Толщина балластного слоя в *м*	Пролет		
	<2 *м*	2÷15 *м*	>15 *м*
0,50	1,40	$1{,}40-\frac{0{,}15(l-2)}{13}$	1,25
1,30	0	0	0

* При промежуточных толщинах слоя динамич. коэф. определяется линейной интерполяцией.

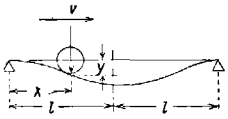
Лит.: Передерий Г. П., Курс мостов, ч. 1, изд. 4, М.—Л., 1929; ч. 2, отд. 1, Л., 1925; ч. 2, отд. 2 (печатается), ч. 2, отд. 3, М.—Л., 1928; его же, Курс жел.-бетон. мостов, Л., 1923; Стрелецкий Н. С., Курс мостов, Металлические мосты, М., 1925; Патон Е. О., Таблицы для проектирования деревянных и стальных мостов, Киев, 1929; Технич. условия проектирования металлич. пролетных строений ж.-д. мостов, «Труды Техно-экономич. совета НКПС», М., 1926, вып. 4/100; Единые нормы строительного проектирования (утверждены Комитетом по стандартизации при СТО 14 марта 1930 г.), М., 1930; Bleich F., Theorie u. Berechnung d. eisernen Brücken, Berlin, 1924; Schaechterle K., Verstärkung, Umbau u. Auswechselung von Eisenbahnbrücken, B., 1926.

С. Бернштейн.

Колебания М. Исследования работы М. показали, что сравнительно ничтожные по своему весу нагрузки (толпа, конница, стадо, паровой каток) при известных условиях вызывают весьма значительные по своей амплитуде колебания, к-рым могут соответствовать и чрезвычайно высокие напряжения, что определенно подчеркивает практическую важность этого вопроса. Кроме того исследования выяснили практич. значение знания законов колебаний М., гл. обр. законов затухания колебаний, непосредственно зависящих от внутренних сопротивлений М. и его состояния и потому являющихся характеристикой этого состояния. Значение свободных колебаний М. заключается прежде всего в том, что от их частоты зависит непосредственно возможность или невозможность возникновения резонанса в вынужденных колебаний при действии ритмич. внешней нагрузки, а косвенно—также и амплитуда вынужденных колебаний; от закона же затуханий свободных колебаний последняя зависит непосредственно. Связь между вынужденными и свободными колебаниями вытекает из общей теории упругих колебаний и поэтому здесь не требует особенного обоснования.

Систематич. анализ причин вынужденных колебаний ж.-д. М. впервые дан Меланом в 1893 г. [1]. В последнее время эти причины снова изложены в систем. виде Хортом [2]. Основными причинами вынужденных колебаний ж.-д. мостов являются следующие. 1) Центробежная сила отдельных движущихся по М. масс, вызванная прогибом пролетного строения (фиг. 22). Колебания, вызванные этой причиной, Хорт называет «эффектом Циммермана» [3]. Причины эти обыкновенно не существенны. 2) Надвижка поез-

да. Если представить себе М. как упругую сплошную балку постоянного сечения, на к-рую по идеально гладкому пути надвигается с постоянной скоростью v постоянная, равномерно распределенная нагрузка, то диференциальное ур-не движения любого элемента балки имеет вид:



Фиг. 22.

$$\varrho f \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \varphi(t),$$

где ϱf — масса пог. единицы балки, а $\varphi(t)$— сила, действующая в момент t на единицу длины рассматриваемого элемента балки, EI—жесткость балки,

$$\varphi(\xi) = p \text{ при } 0 \leqslant \xi \leqslant x,$$
$$\varphi(\xi) = 0 \text{ при } x \leqslant \xi \leqslant l,$$
$$\xi = vt.$$

Интегрирование этого диференциального ур-ия и дает возможность определить вынужденные колебания, вызванные надвижкой состава [4]. Это обстоятельство также не очень существенно. 3) Влияние избыточных противовесов паровоза или же вообще неуравновешенных частей, которые во время движения последнего ритмически действуют на пролетное строение. Величина этих неуравновешенных сил, при прочих равных условиях, для каждого данного паровоза пропорциональна квадрату его скорости. В ж.-д. М. это влияние является наиболее серьезным. 4) Влияние периодических ударов вагонных колес при проходе через стыки рельсов. В известных случаях это обстоятельство может иметь серьезное значение, например при неудачном выборе расстояния между осями вагонов. 5) Влияние колебаний кузовов вагонов на рессорах. В виду медленности колебаний и быстроты затуханий эта причина однако несущественна. 6) Причины случайные, иногда периодич. характера (неровности на поверхности катания бандажа). Наибольший допустимый износ бандажа (2 *мм*) дает очень значительный эффект, аналогичный указанному в п. 4. Горизонтальные колебания как продольные, так и поперечные вызываются в большей или меньшей степени всеми названными причинами, если они действуют несимметрично на обе фермы пролетного строения, что всегда имеет место. Кроме того они вызываются: 7) моментами и проекциями продольных сил инерции качающихся масс паровоза; так как эти силы приложены вблизи проезжей части, плоскость которой не служит плоскостью симметрии пролетного строения как пространственной системы, то они вызывают кроме горизонтальных и вертикальные колебания обеих ферм. В М. под обыкновенную дорогу причины колебаний таковы: 1) Силы инерции тела людей и животных при ходьбе [5]. Доказано, что траектория ц. т. человеч. тела при прямолинейной ходьбе и беге представляет собою пространственную кривую. В еще большей степени это относится к движениям животных. Особенно серьезной и опасной величины силы инерции достигают при проходе толпы в ногу. 2) Различные, частью ритмические, частью случайные, вертикальные и горизонтальные силы, которые возникают благодаря неровностям пути при проходе экипажей и автомобилей. Эти две причины являются основными. 3) Силы инерции неуравновешенных масс механизма нагрузки (автомобиля, катка). В нормальных эксплоатационных условиях эта причина не имеет существенного значения. Степень влияния всех перечисленных причин зависит от многих обстоятельств, в том числе и от соотношения между периодом собственных колебаний М. по данному направлению и периодом действующих сил. Совпадение периодов может привести к резкому увеличению эффекта вследствие явления резонанса.

Причины свободных колебаний М. Свободные колебания М. в обычных условиях их появления налагаются на вынужденные колебания, вызываемые перечисленными выше причинами. Благодаря затуханию они мало заметны на тех диаграммах, которые записываются приборами при проходе поезда. После схода поезда остаются конечно только свободные колебания, но они редко имеют большие амплитуды.

Направление колебаний пролетного строения. Пролетное строение, как упругое пространственное сооружение, в общем случае испытывает под действием нагрузки сложное колебательное движение, причем направление колебаний непрерывно изменяется от точки к точке. В целях облегчения исследования, колебания пролетного строения разлагают обычно на вертикальные, горизонтальные поперечные и горизонтальные продольные. Сверх того существуют еще местные колебания, напр. в балках проезжей части, в отдельных раскосах и т. п.

Период колебаний. Вынужденные колебания имеют тот же период, что и сила, вызывающая их; на них налагаются кроме того также собственные колебания. Вычисление собственных колебаний мостовых ферм, как систем с многими степенями свободы, довольно сложно [6]. Приближенные способы, основанные на замене фермы эквивалентною ей балкой, притом совершающей колебания с одной степенью свободы, приводят к более простым ф-лам. Для балки на двух опорах, по Хорту [2],

$$n_p = \frac{\pi}{2l^2}\sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{p}} \text{ и } n_{p+q} = \frac{\pi}{2l^2}\sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{p+q}}, \quad (1)$$

где n_p и n_{p+q} — числа собственных свободных вертикальных колебаний в ск., соответствующих двум случаям: когда балка нагружена собственным (равномерно распределенным) весом интенсивности p на погонную единицу, и когда она нагружена сверх того равномерно распределенной нагрузкой интенсивности q; g—ускорение силы тяжести; $E \cdot I$ — жесткость балки, имеющей при том же пролете l те же напряжения в крайних волокнах от собственного веса, как и данная ферма. Из предыдущих ф-л Хорт вывел для числа колебаний n более простую формулу:

$$n = \frac{17\,600}{l\sqrt{\frac{\sigma}{h}}}, \quad (2)$$

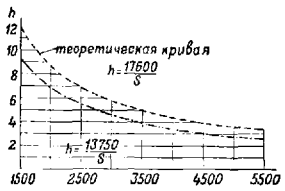
где l и h—длина и высота фермы в *см*, σ—

напряжение от нагрузки p или, соответственно, от $p+q$ в поясах в середине пролета, в *кг/см²*. На фиг. 23 даны две кривые: теоретич. и вычисленная по данным опытов, произведенных по распоряжению дирекции швейцарских ж. д. Диаграмма дает зависимость частоты n колебаний моста в ск. от величины $s = l\sqrt{\frac{\sigma'}{h}}$, где $h = \frac{17600}{s}$, σ' — среднее значение максимального напряжения поясов ферм в *кг/см²*.

Период колебаний $T = 1/n$. По Тимошенко [7], период колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{c}} = 2\pi\sqrt{m y_0}; \quad (3)$$

здесь m—приведенная к середине пролета масса колеблющейся балки вместе со сплошной равномерно распределенной нагрузкой, покоящейся на ней; если последняя равна M, то $m = \frac{17}{35}M$; c—сосредоточенная сила, приложенная в середине пролета и вызывающая в этом месте прогиб в 1 *см*; $y_0 = \frac{1}{c}$—прогиб в середине пролета от приложенной в этом месте сосредоточенной силы, равной единице. Для сплошной балки



Фиг. 23.

$$c = \frac{48\,E \cdot I}{l^3}.$$

Во избежание крупных ошибок необходимо брать не теоретическую, а действительную жесткость ферм, характеризуемую величинами c или y_0.

По Блейху [8],

$$T = \frac{2l^2}{\pi}\sqrt{\frac{p}{g \cdot E \cdot I}}, \quad (4)$$

где p—интенсивность равномерно распределенной сплошной нагрузки (включая и собственный вес балки) на единицу длины. Величина $E \cdot I$, так же как и в предыдущем случае, должна быть взята условно, по действительной жесткости пролетного строения. По данным Института инженерных исследований [9],

$$T_x = (47l - 0{,}10l^2) \cdot 10^{-4}, \quad (5)$$

где l в *м*, а T_x—период вертикальных колебаний—в ск. Для горизонтальных поперечных колебаний

$$T_y = 80l \cdot 10^{-4}. \quad (6)$$

Ф-ла (6) дает несколько преуменьшенные значения лишь для старых многорешетчатых строений с тавровыми поясами и без поперечных связей; для таких М., по данным Ин-та инженерных исследований, следует коэф-т 80 заменить коэф-том 100. Для колебаний кручения

$$T_z = T_x\left(0{,}8 + \frac{h}{6b}\right), \quad (7)$$

где h — высота ферм, b — ширина моста, а T_x определяется из формулы (5). Для вертикальных колебаний неразрезных балок без консолей и с консолями и с различным числом пролетов теоретически выведены приближенные простые ф-лы [10]; проверка при помощи точного расчета для двухпролетной неразрезной балки дала результаты, весьма близкие к результатам этих формул [11]. Формулы (1—4) годятся также для М. под обыкновенную дорогу.

Степень затухания колебаний. На период свободных колебаний затухание влияет слабо, а на амплитуды вынужденных и свободных колебаний — значительно. Экспериментальное исследование этого вопроса началось под влиянием новой методики только в самое последнее время и выявило поэтому к настоящему времени еще мало данных. В Германии Р. Бернгардом [12] произведено несколько опытов исследования М. при помощи вибрационной машины Шпета, которая позволяет определить мощность в ваттах, потребную для раскачивания пролетного строения при резонансе. В СССР затухание определялось при помощи непосредственного сравнения последовательных амплитуд затухающих свободных колебаний, вызванных ударом [13]. Благодаря затуханию колебаний, ритмич. сила, период к-рой равен периоду собственных колебаний пролетного строения, вызывает конечную амплитуду, которая сравнительно быстро достигает своего максимума и затем остается постоянной при любом числе импульсов силы [14]. Периоды собственных колебаний и степень их затухания составляют в своей совокупности ту основу, на к-рой теоретич. путем м. б. построена вся теория динамики.

Лит.: [1]) Melan J., Über d. dynamische Wirkung bewegter Lasten auf Brücken; «Zeitschriften d. österreichischen Ingenieur und Architekten Verein», Wien, 1893, p. 293; [2]) Hort W., Stoffsbeanspruchungen u. Schwingungen d. Hauptträger statisch bestimmter Eisenbahnbrücken, «Die Bautechnik», Berlin, 1928, Jg. 6, H. 3 und 4; [3]) Zimmermann H., Die Schwingungen eines Trägers mit bewegter Last, B., 1896; [4]) Timoschenko St., Schwingungen prismatischer Stäbe, «Z. f. Math. u. Phys.», Berlin, 1911, B. 59, p. 163 u. ff.; Тимошенко С., О вынужд. колебаниях призматич. стержней, «Изв. Киев. политехнич. ин-та», Киев, 1910; [5]) Fischer O., Theoretische Grundlagen f. eine Mechanik d. lebenden Körper, Lpz.—Berlin, 1906; Бернштейн Н. А., Исследования по биодинамике ходьбы и бега. Вопросы динамики мостов, 13 Сборн. Отд. инж. исслед., «Труды научно-техн. комитета НКПС», вып. 63, М., 1927; его же, Исследование свободных поперечных колебаний пролетных строений, там же, Москва, 1929; [6]) Reissner H., Schwingungsaufgaben aus d. Theorie d. Fachwerke, «Zeitschrift f. Bauwesen», B., 1903; p. 135; Pohlhausen A., Berechnung d. Eigenschwingungen statisch bestimmter Fachwerke, «Ztschr. für angew. Math. u. Mech.», B., 1921, p. 28; [7]) Тимошенко С. П., Курс сопротивления материалов, изд. 6, М.—Л., 1928, стр. 406, Киев, 1913; [8]) Bleich F., Theorie u. Berechnung d. eisernen Brücken, p. 49, Berlin, 1924; [9]) Бернштейн Н. А., Теория боковой качки железных мостов, «Сборн. Ин-та инжен. исследований», М., 1929; [10]) Рабинович И. М., Приближ. расчет периода свободн. колебаний многопролетных неразрезных балок, «6 Сборн. Ин-та инжен. исследований», Москва, 1926; [11]) Николаев Г. А., Свободные колебания пролетных строений под действием удара, «13 Сборник Ин-та инжен. исследований», М., 1927; [12]) Bernhard R. u. Späth W., Rein dynamische Verfahren zur Untersuchung d. Beanspruchungen v. Bauwerken, «Der Stahlbau», Berlin, 1929, H. 6; [13]) Николаев Г. А., Энергетические процессы колебаний пролетных строений мостов, «21 Сборн. Ин-та инжен. исследований», М., 1929; [14]) Föppl A., Vorlesungen über technische Mechanik, B. 4, § 8, Mch.—Berlin, 1923; Рабинович И. М., Динамич. воздействие толпы на мосты по данным спец. опытов Отдела инжен. исследований, Вопросы динамики мостов, 13 Сборн. Отд. инж. исследований, «Труды Научно-техн. комитета НКПС», Москва, 1927; его же, Динамич. воздействие толпы на мосты, 17 Сборн. Ин-та инжен. исследований, на нем. языке в сборнике «Ergebnisse d. experimentellen Brückenuntersuchungen in d. USSR», Москва, 1928; его же,

Некоторые соображения о связи между состоянием металлич. пролетных строений и их колебаниями, там же, М., 1927, стр. 33—34 (та же статья на нем. языке в сборн., указанном под № 4); Stokes G. G., Transactions Cambr. Phil. Society, Cambridge, 1849, p. 707; Willis, Report of the Commission Oppointed to Enquire into the Application of Iron to Railways Structures, London, 1849; Deslanders, Action des chocs rythmés sur les travées métalliques, «Annales des ponts et chaussées», Paris, 1892, t. 4, p. 765; Hawranek, Schwingungen v. Brücken, «Eisenbau», Lpz., 1914, 7, p. 221—231; Tilden, Kinetic Effects of Crowds, «Trans. of the Amer., Soc. of Civ. Engineers, N. Y., 1913, v. 76, p. 2107—2132. **И. Рабинович.**

Общая экономичность М. Общая экономичность М. обычно определяется совокупностью первоначальной стоимости его сооружения и капитализированным ежегодным эксплоатационным расходом по его ремонту и надзору за ним, а также долговечностью М. Правильное решение вопроса в каждом отдельном случае возможно только после разработки и сравнения между собой различных возможных вариантов решения задачи. К этому приему обычно и прибегают при проектировании всякого б. или м. крупного М. Первоначальная стоимость деревянных М. вообще наименьшая, но зато и долговечность их наименьшая, а эксплоатационные расходы наибольшие, составляя в год ок. 2,5% первоначальной стоимости М. При рассмотрении вопроса о выборе системы М. было уже указано на ограниченность сферы рационального применения деревянных М.; все эти причины ставят узкие пределы экономичности их применения. Для малых пролетов значительными преимуществами обладают железобетонные М. Стоимость сооружения их не выше стоимости металлич. М., но при сроках службы по меньшей мере равных (от 25 до 30 лет малые М. и от 70 до 100 лет большие) железобетонные мосты требуют эксплоатационных расходов в 2—3 раза меньше (0,5% против 1—1,5% для металлич. М.). Важным эксплоатационным преимуществом железобетонных М. является непрерывность пути при переходе с земляного полотна на М., что устраняет неизбежный в металлич. М. удар. Однако стоимость балочных железобетонных М. уже при небольших пролетах (15 *м* для ж.-д. М. и 30 *м* для экипажных М.) становится выше стоимости металлических М. Правда, для арочных М. эта граница лежит значительно выше, но обычные в них трещины, губительно влияющие на арматуру, сильно понижают их долговечность, а следовательно и экономичность их применения. Каменные М. требуют наименьших эксплоатацион. расходов (0,25—0,5%) и обладают наибольшей долговечностью. Но первоначальная стоимость их, вообще говоря, наибольшая и в значительной мере определяется степенью сложности устройства прочных оснований, имеющих особенно важное значение при больших пролетах. Давая, подобно железобетонным М., возможность осуществить непрерывность пути, каменные М. лишены серьезного их недостатка—наличия легко подвергающейся разрушению железной арматуры. Металлические мосты, сравнительно легко подверженные порче от ржавчины, расстройства заклепочных соединений и т. п., требующие поэтому повышенных эксплоатационных расходов и уступающие место в области малых пролетов железобетонным и каменным мостам, не имеют соперников в сфере больших пролетов. Обладая наименьшим общим весом, металлические М. незаменимы также в случаях, требующих легкого сооружения.

Стоимость М. в значительной степени зависит от величины его пролетов, и правильная разбивка М. на пролеты является мерой экономичности сооружения. За исключением тех случаев, когда величина пролетов устанавливается по требованиям технич. характера (как напр. на судоходных реках), разбивка пролетов делается по экономич. соображениям. Вообще говоря, с увеличением пролетов растет стоимость пролетного строения, но уменьшается стоимость опор—и наоборот; при определенном указанном соотношении стоимость М. получается наименьшей. Подсчеты показывают, что это наступает в тот момент, когда стоимость одного пролетного строения без проезжей части сравняется со стоимостью одного быка; величина наивыгоднейшего пролета l при этом выражается ф-лой:

$$l = \sqrt{\frac{A}{B}},$$

где A—стоимость одного быка и B—стоимость одной погонной единицы пролетного строения. Для высоких каменных и железобетонных М.-виадуков наивыгоднейший пролет равен полной высоте М. от обреза фундамента до подошвы рельса. Правила эти могут служить однако только для предварительной наметки, окончательно же вопрос об экономичности сооружения решается, как уже говорилось, путем составления различных вариантов проекта и подсчета их стоимости. **М. Холшевников.**

Эксплоатация М.

Надзор за состоянием М. I. Металлические М. Надзор за состоянием металлич. М. можно разбить на три части: А) надзор за состоянием реки и ее русла, а также опор и регуляционных сооружений; Б) надзор за состоянием пролетных строений и В) надзор за состоянием настила.

А. При осуществлении надзора за состоянием реки и ее русла необходимо производить следующие наблюдения: горизонта воды, режима поведения реки в наиболее характерные моменты времени, толщины льда и отдельных его слоев и глубины русла. Наблюдение над горизонтом воды в нормальных условиях следует производить не реже одного раза в месяц, а также в дни заметного изменения уровня воды. Во время же половодья и летних паводков наблюдения эти должны делаться значительно чаще: два раза в день—утром и вечером. Наблюдения над горизонтом воды обычно производят с помощью специальных водомерных реек, устанавливаемых на опорах М. в необсыхаемых местах, с низовой стороны реки (во избежание повреждений от ледохода и плывущих предметов). Наблюдения над режимом реки в весенний период заключаются в регистрации времени первой подвижки льда, начала и продолжительности ледохода, характера половодья; в зимний же период выясняются следующие вопросы:

появлялся ли перед замерзанием реки мелкий подвижной лед; был ли ледоход или ледостав и время образования последнего; покрывалась ли вся река льдом или только у берегов; имеются ли полыньи. Наблюдения над ледяным слоем начинают с того момента, как только толщина его достигнет такой величины, которая позволяет безопасно по нему ходить; наблюдения эти имеют целью определение толщины льда и характера его строения; толщину льда рекомендуется определять в двух точках: у берега (где глубина воды $\cong 1 \div 1^1/_2$ м) и в месте наибольшей глубины. Промеры русла реки в нормальных условиях производят два раза в год: 1) в зимнее время со льда и 2) после спада весеннего паводка (если таковой имеется). Промеры эти рекомендуется производить по трем направлениям (профилям): 1) по продольной оси М., 2) в 50 *м* от продольной оси М. вверх по течению, 3) в 50 *м* от продольной оси М. вниз по течению. Положение снимаемых профилей фиксируется на месте забивкой на обоих берегах невысоких свай. У конусов, устоев и быков М. промеры русла производят по всему очертанию таковых. На неглубоких реках промеры русла производят футштоком, на глубоких—лотом. Для поддержания откосов конусов и регуляционных сооружений у М. в должном состоянии необходимо вести систематич. исправления всевозможных обсыпаний, обрушений, размывов и повреждений обделки. Особенно внимательно приходится следить за всем этим перед наступлением паводка и немедленно устранять всякие повреждения, обнаруженные в конусах, укреплениях опор и русла и в регуляционных сооружениях до прохода ближайших высоких вод. В случае обнаружения признаков, указывающих на возможное смещение быков или устоев в плане или на наклон их, немедленно устанавливают систематич. наблюдения за положением опор помощью отвесов, уровней или других инструментов. Немедленно устанавливают систематические наблюдения помощью простейших приспособлений за опорами и в случае обнаружения в них трещин, причем последние зарисовывают на чертеж опор, нанося на этот чертеж возможные постепенные изменения конфигурации этих трещин, следя за их изменением с временем. В случае наличия серьезных трещин, необходимо путем удаления ряда облицовочных камней обязательно выяснять, не распространяются ли трещины в самой кладке опоры. При сильном повреждении опор трещинами рационально производить ремонт опор торкретированием. Необходимо обращать внимание также и на состояние швов облицовки, не задерживая расшивку их цементным раствором в случае разрушения; в особо неблагоприятных условиях в этом отношении находятся те части опор, которые расположены по высоте между меженью и самым высоким горизонтом воды.

Б. Надзор за состоянием металлич. пролетных строений М. заключается в наблюдении над состоянием: а) металла и поврежденных частей, б) заклепочных соединений и в) опорных частей. а) Режим содержания металлич. частей М. должен быть такой, чтобы они были, во-первых, предохранены от возможности образования и развития ржавчины и, во-вторых, чтобы имеющиеся в них повреждения в виде трещин, расслоений, пробоин и т. д. были соответствующим образом заделаны. Что касается борьбы с ржавлением, то здесь весьма важную роль играет своевременная окраска М. Нормальным сроком окраски М. следует считать 5 лет, а для М., расположенных на приморских линиях (с влажным климатом), 3 года. В зависимости от обстоятельств (недоброкачественный материал самой краски, плохое качество работы, а также неблагоприятные атмосферные условия при предыдущей окраске) указанный нормальный срок д. б. сокращен. Окраску рекомендуется производить в сухое (но не жаркое) время года; цвет окраски, если не имеется на это каких-нибудь особых указаний, д. б. серый, и только в крайнем случае разрешается производить окраску суриком. Подлежащая новой окраске поверхность д. б. очищена от отстающей краски, а также от ржавчины; наиболее действительна очистка пескоструйными аппаратами; в СССР для этих целей наиболее употребительны металлич. щетки. После очистки поверхность д. б. тотчас же загрунтована и затем уже окрашена не менее как за два раза. При окраске верхних поясов продольных балок ж.-д. М. мостовые брусья необходимо обязательно сдвигать. Краска у нас приготовляется на олифе. Защитные свойства краски обусловливаются способностью олифы давать при застывании эластичную, непроницаемую для атмосферных агентов корку. Однако произведенные новейшие исследования поверхности краски показывают, что олифа в этом отношении далеко не безупречна и что, наоборот, она часто коробится и дает складки, поглощающие влагу. Поэтому отношение к масляным краскам за последнее время меняется. Более действительными считаются покрытия, механически наносимые на металл распыливанием посредством сжатого воздуха. Применение сжатого воздуха очень полезно также при масляных красках, придавая им значительную стойкость. Для сохранения стойкости красковой корки необходимо как можно мельче размалывать краски, так как мелко размолотые (дипрессионные) краски являются наиболее действительными. В виду особенно большой подверженности ржавлению нижних поясов главных ферм М. с сдою понизу, а также верхних поясов продольных и поперечных балок ж.-д. М. рекомендуют эти части окрашивать красками, к-рые имеют в своем составе примесь свинцовых белил. Особое внимание нужно обращать на коробчатые нижние пояса, как можно чаще очищая их от грязи и удаляя скопившуюся воду устройством достаточного числа водоспускных отверстий, диам. $\not< 25$ *мм*. Окраску таких частей М., которые подвержены вредному действию дыма от паровозов, рекомендуется производить задолго до прохода поездов, причем после окраски таких частей весьма желательно закрывать их до полного просыхания брезентом или деревом. Для более успешной

борьбы с ржавчиной необходима тщательная очистка от грязи и зашпаклевка щелей, получающихся наприм. при расслоении металла, а также при наличии большого шага в крайних соединительных заклепках; в последнем случае вообще рекомендуют после производства очистки добавлять число связующих заклепок, с таким однако расчетом, чтобы шаг был не больше 200 *мм*. В случае обнаружения в металле трещин и значительных расслоений соответствующие места должны немедленно усиливаться постановкой накладок; при серьезном характере этих повреждений следует сменить весь элемент. Такому же усилению и заделке должны подвергаться также и те части М., которые получили пробоины, простреды или другие подобные повреждения.

Особо следует отметить вопрос о содержании искривленных элементов главных ферм и ветровых связей. В ранее сооруженных М. диагонали этих связей обычно очень гибки и находятся в провисшем состоянии; если стрела искривления превосходит $^1/_{300}$ часть длины диагоналей, то рекомендуется производить расклепку их с последующим выправлением и натяжением. Что же касается сильно искривленных сжатых раскосов главных ферм, имеющих стрелу искривления больше $^1/_{500}$ длины, то исправить этот недостаток путем соответствующего выправления раскосов чрезвычайно трудно и сложно; здесь уже приходится ограничиваться лишь усилением как самих раскосов, так и соединительной решеточки, связывающей в одно целое ветви раскосов.

б) Относительно заклепочных соединений следует указать, что при обнаружении слабых заклепок (т. е. дребезжащих при простукивании) в ответственных местах таковые должны сменяться; заклепки же, имеющие маломерные головки, плохо притянутые, прожженные, сидящие в неправильных дырах, заменяются в зависимости от того, насколько значительны в них эти недостатки. При смене заклепок вообще допускается одновременно срубание не больше одной заклепки. После окончания смены заклепок д. б. обязательно проверены (выстуканы) и просмотрены все заклепки—как вновь поставленные, так и расположенные с ними рядом; последнее требование обусловливается тем, что обычно при срубании заклепок могут расшатываться и соседние с ними заклепки. Поэтому смена заклепок должна производиться лишь в случае явной необходимости. Весьма желателен при этом точный учет как числа смененных заклепок, так и мест их расположения.

в) Наблюдение над состоянием опорных частей заключается гл. обр. в содержании их в чистоте и в выправлении ушедших сильно из своего нормального положения катков. Весьма желательно плоскости катания, а также и сами катки, во избежание ржавления, натирать графитом; следует однако иметь в виду, что средство это полностью достигает цели лишь тогда, когда натирание производится при поднятых на домкратах фермах, что не всегда возможно сделать; в последних случаях можно рекомендовать смазку нефтью, но при обязательном условии наличия вполне исправных фартуков и осмотра опорных частей не реже, чем 2 раза в месяц.

Содержание пути на ж.-д. М. определяется следующими правилами. 1) В случае расположения пути на поперечных мостовых брусьях последние должны обязательно прикрепляться к продольным балкам помощью специальных типовых лапчатых болтов, которые необходимо держать все время в подтянутом состоянии; весьма желательно при этом, для предотвращения продольного угона брусьев под действие проходящих поездов, хотя бы каждую третью или четвертую поперечину прикреплять к продольным балкам помощью уголков-коротышей и горизонтальных болтов. 2) В случае расположения пути на балласте (балластное корыто) путь должен содержаться в том же состоянии, что и путь вне М., причем особое внимание здесь необходимо обращать на обеспечение отвода скопляющейся воды помощью специальных приспособлений (см. ниже). 3) Для увеличения срока службы мостовых брусьев их следует укладывать в пропитанном состоянии; однако пропитку не следует производить хлористым цинком, так как он разъедающим образом действует на металл; в случае укладки непропитанных брусьев необходимо их обязательно осмолить или проолифить, обратив внимание на те места, которыми брусья непосредственно касаются продольных балок; торцы брусьев для возможности просыхания древесины осмаливать или олифить не рекомендуется; весьма желательна укладка между брусом и рельсовой прокладкой какой-либо упругой прокладки; эта простая мера улучшает работу бруса и он не так сильно сминается и разрушается; для предохранения брусьев от дальнейшего разрушения рекомендуется заливать смолой или зашпаклевывать все трещины, образующиеся в них во время службы; весьма важно следить за общим количеством неудовлетворительных брусьев на М.; количество это не должно превышать 15%, причем нельзя допускать нахождения рядом двух плохих по качеству брусьев. 4) Рельсовый путь на М. укладывают таким образом, чтобы он имел плавный подъем к середине пролета М.; величина подъема может колебаться от $^1/_{5000}$ до $^1/_{2000}$ пролета М., причем такой подъем достигается или соответствующей подрубкой брусьев (с глубиной врубки не более 2 *см*), либо применением металлических или деревянных прокладок необходимой толщины, или наконец применением брусьев разной высоты; резких изломов в продольном профиле и в плане пути на М. не допускается; кроме того необходимо следить за тем, чтобы между осью пути и осью пролетного строения были по возможности самые небольшие расхождения, причем в некоторых случаях наличия особо резких отклонений между осями пути и пролетного строения рекомендуется передвижка последнего. 5) Стыки рельс могут укладываться или в промежутках между брусьями, причем в этом случае необходимо применение под стыком двух ребордчатых мостовых подкладок. или над брусьями. На М. отверстием до 8 *м* путь

должен укладываться без рельсовых стыков; на М. общим протяжением менее двойной длины укладываемых рельс, а также на всех М., снабженных полными комплектами уравнительных приборов, зазоров в стыках рельс совсем не д. б., для чего надлежит принимать специальные меры (вкладыши Янушевского, сварку рельсовых стыков); на всех остальных М. зазоры в стыках рельс не должны превосходить 5 *мм*; для достижения этой нормы рекомендуется применять вкладыши Янушевского; на всех ж.-д. М. вообще рекомендуется производить сварку рельсовых стыков, соблюдая однако следующие условия: а) работа эта должна производиться весьма опытным персоналом; б) после сварки головки рельс д. б. самым тщательным образом зачищены; в) сваренные стыки надо располагать над брусьями; г) в целях увеличения жесткости опоры под свариваемые стыки д. б. подложены специальные подкладки; д) если длина балочного пролетного строения, считая от одной неподвижной опоры до другой или от неподвижной опоры до устоя, больше 60 *м*, то над подвижными опорами д. б. уложены уравнительные приборы, причем обязательно острякового типа; существующие еще до настоящего времени на нек-рых М. уравнительные приборы старого типа со вставками, дающие сильные удары при проходе по ним колес подвижного состава, должны или выноситься на устои или по возможности заменяться приборами нового типа.

В. Состояние настила на М. под обыкновенную дорогу представляет собою самый основной фактор, определяющий интенсивность динамич. воздействия нагрузки: при наличии в настиле, в результате его износа, даже небольших по величине впадин и выбоин проходящие по ним колеса экипажей и автомобилей вызывают значительные удары. Имеющиеся на М. под обыкновенную дорогу обычные двойные дощатые настилы в этом отношении недостаточно рациональны, т. к. верхняя их часть—верхний настил—очень быстро изнашивается; благодаря этому срок службы верхнего настила при средней интенсивности движения следует считать ок. 2 лет, при сильной интенсивности—менее года. Для увеличения этого незначительного срока рационально покрывать доски верхнего настила полосками тонкого железа. Доски нижнего настила укладываются с зазорами в 2,5 *см*, с целью лучшей вентиляции и уменьшения вероятности загнивания их; кроме этого рекомендуется осмаливать их; срок службы нижнего настила 6—8 лет. В поперечном направлении деревянный настил укладывается в среднем с уклоном в 1,5% с целью стока воды в продольные желоба, устраиваемые по краям настила у отбойных брусьев и имеющие ряд водоспускных отверстий. Как желоба, так и указанные отверстия должны систематически прочищаться. Другие, более тяжелые типы верхней одежды полотна М. под обыкновенную дорогу в виде каменных мостовых (гранитной, брусчатой, щебеночной и булыжной) являются более долговечными, но они требуют внимательного и постоянного за собою ухода, особенно щебеночная и булыжная; последнюю приходится возобновлять почти каждый год, в связи с чем стоимость ее ремонта составляет при интенсивном движении выше 10% затраченного капитала (примерно столько же обходится ремонт и дощатого деревянного настила). Стоимость содержания текущего ремонта брусчатой мостовой значительно дешевле и составляет всего только 5% затраченного капитала, но в этой мостовой с течением времени скалываются грани брусков, создавая тем самым неровную поверхность, во избежание чего рекомендуется делать минимальные зазоры между брусками и заливать их цементным раствором и гудроном. Являющаяся наилучшей торцовая мостовая требует за собой также бдительного надзора. Стоимость содержания и текущего ежегодного ремонта ее ок. 5% первоначальной стоимости. Асфальтовая одежда требует весьма тщательного надзора и систематического исправления появляющихся в ней повреждений. Асфальт лучше употреблять прессованный, т. к. литой размягчается от действия солнца. Стоимость текущего ремонта и содержания асфальтовой мостовой ок. 5% первоначальной стоимости.

II. Массивные М. Осмотр и содержание регуляционных сооружений и опор массивных М. (железобетонных, бетонных и каменных) выполняется по тем же правилам, что и металлич. М. Осмотр и содержание пролетных строений массивных М. значительно проще, чем металлических; особенно это справедливо по отношению к каменным М.; здесь все сводится к надзору за состоянием швов облицовки и кладки и изоляции в балластном корыте. При обнаружении на поверхности кладки потеков, вообще заметных следов сырости, д. б. проверено состояние изоляции путем ее вскрытия; в случае существования повреждений изоляция д. б. заменена новой. В качестве изоляции могут употребляться различные эластичные водонепроницаемые материалы, напр. толь, просмоленное джутовое полотно (или войлок), рубероид, представляющий собою листы до 2 *мм* толщиною из шерстяных оческов, пропитанных смолой. Перед укладкой этих материалов изолируемая поверхность предварительно покрывается цементной смазкой и теплой смолой, причем при помощи последней изоляционный материал приклеивается к цементной смазке. Весьма хорошей, но очень дорогой изоляцией являются свинцовые листы толщиною до 3 *мм*, укладываемые между двумя слоями просмоленного полотна по горячему гудрону. Последние нем. данные рекомендуют устраивать изоляцию в виде двух слоев, разделенных между собою и покрытых сверху той либо иной клеевидной смазкой; общая толщина этого изоляционного слоя (без учета толщины предварительной цементной смазки изолируемой поверхности) около 8 *мм*. Для защиты самой изоляции от возможных механическ. повреждений от действия ударов подвижной нагрузки те же нем. данные предлагают покрывать изоляцию специальным защитным слоем, состоящим из пропитанных битумом картона и ткани, покрытых сверху укатанным круп-

ным (2 *мм*) песком; сверху на этот защитный слой, имеющий общую толщину ок. 4 *мм*, укладывают еще специальные плиты. При осмотре бетонных и железобетонных М. рекомендуется обращать внимание на признаки, к-рые указывают на существование возможных раковин в теле бетона, причем достаточно показательным в этом отношении признаком следует считать характерный глухой звук, получающийся при выстукивании молотком поверхности бетонной кладки при наличии в ней раковин. Особое внимание при осмотре и содержании бетонных и железобетонных М. приходится уделять трещинам; при достаточном развитии последних необходимо приступить к их заделке торкретированием; применение последнего может быть рекомендовано и для заделки раковин. Во избежание образования в бетоне трещин вследствие недостаточной обеспеченности темп-рных удлинений необходимо вести тщательный надзор за состоянием соответствующих $t°$-ных швов, периодически их прочищая.

III. Деревянные М. Для деревянных М. вопросы осмотра и содержания играют первостепенную роль с точки зрения увеличения срока их службы. Без систематич. тщательного надзора с последующим исправлением обнаруживаемых дефектов деревянные М. пришли бы в полную негодность через 2—3 г. При осмотре и содержании этих М. приходится обращать внимание: 1) на загнивание дерева, 2) трещиноватость отдельных элементов, 3) состояние врубок и нагелей, 4) подтянутость болтов и тяжей; 5) строительный подъем ферм. Степень загнивания дерева определяют непосредственным тщательным осмотром всех частей моста, причем в подозрительных местах рекомендуется брать пробы дерева буравами. Следует иметь в виду, что наиболее сильное загнивание образуется в тех частях М., которые подвержены действию переменной влажности (свай М. в пределах колебаний горизонта воды, а также границы сухопутных свай на уровне земли). Опыт кроме того показывает, что большему загниванию подвергаются части М., расположенные с солнечной стороны. При выяснении состояния дерева необходимо достаточное внимание обращать и на признаки, указывающие на наличие таких причин, действующих разрушающим образом на дерево, как червоточина и грибки-паразиты. Наиболее вредными в этом отношении являются свайный червь, или шашень (Feredo navalis), бурильная раковина (Pholas) и жукточильщик (Annobium), причем первые два обычно поражают части, находящиеся в воде, третий—части, находящиеся на воздухе. Разрушения, наносимые этими паразитами дереву, сводятся к пробуравливанию его во всех направлениях. Для уменьшения вероятности нападения указанных паразитов следует употреблять в дело как при самой постройке моста, так и при его ремонте более твердые породы дерева, выбирать более молодой, здоровый, без признаков болезней материал; кроме того необходимо пользоваться деревом зимней рубки, т. к. дерево весенней и летней рубки, обладающее бо́льшим количеством соков, в большей степени подвержено и нападению паразитов. В целях предохранения дерева от вредного влияния переменной влажности и вообще от загнивания рекомендуется осмаливать его, обугливать или окрашивать масляной краской. Более радикальным средством следует признать пропитку дерева антисептич. составами; лучшим из них можно считать состав, состоящий из хлористого аммония (16%), хлористого цинка (4%) и воды (80%); этот состав обладает не только высокими противогнилостными, но и огнезащитными свойствами. Достоинством указанного состава является также его дешевизна. Минусы его: возможное понижение механических качеств древесины и повышение ржавления металлич. частей. Трещины в элементах деревянного М., являющиеся рассадниками загнивания, необходимо замазывать замазкой с целью устранения возможности проникновения в них влаги. Наиболее существенное внимание при осмотре и содержании деревянных мостов нужно уделять состоянию врубок и нагелей; при обнаружении расстроенных врубок следует подтягивать соответствующие болты и тяжи; усохшие, ослабевшие нагеля необходимо систематически подбивать и сменять. Весьма показательно с точки зрения оценки общего состояния ферм деревянных мостов последовательное сравнение кривых их строительных подъемов, к-рые для деревянных М. чрезвычайно слабо зависят от $t°$ влияний: во-первых, потому что коэф-т линейного расширения дерева в 3 с лишним раза меньше, чем у железа, а во-вторых, потому что пролеты деревянных М. обычно небольшие.

Исследование и испытание М. Экспериментальные исследования М. в настоящее время представляют собой сильно развившуюся специальную отрасль технич. знаний, посвященных изучению действительного характера работы как всего сооружения в целом, так и отдельных его частей. Особенно много было сделано в области указанных экспериментальных исследований в последнее 10-летие в СССР трудами Института инженерных исследований НКПС. Все эти исследования м. б. разбиты на две основные группы: 1) исследования, выясняющие работу М. под статич. действием нагрузки; 2) исследования, выясняющие работу М. под динамич. действием нагрузки. К первой группе относятся исследования, посвященные изучению: а) конструктивных поправок напряжений и прогибов (т. е. отношений между действительными и соответствующими теоретическими деформациями); б) дополнительных напряжений; в) $t°$-ных деформаций; г) сдвигов в заклепочных соединениях. Ко второй группе относятся исследования, посвященные изучению: а) свободных колебаний М. как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях; б) динамич. коэф-тов (т. е. отношений между наибольшей динамич. и наибольшей статической деформациями) ж.-д. мостов для разных типов нагрузок (паровозов); в) динамич. коэф-тов М. под обыкновенную дорогу для различных типов нагрузок (толпа,

лошади, автомобили, артиллерия и т. д.); г) коэф-тов площадей диаграмм, т.е. коэф-тов, представляющих собою отношение площадей действительных, полученных при испытании М. диаграмм тех или иных деформаций, к площадям теоретич. статич. диаграмм тех же деформаций. Такое значительное развитие дела исследования М. позволяет сейчас уже применять нек-рые результаты этих исследований при решении чисто практич. экспертных задач относительно степени удовлетворительности мостов. Производя специальное испытание М. под временной нагрузкой и рассматривая в совокупности результаты этого испытания, а также результаты осмотра М., можно делать обоснованные заключения о состоянии и качестве работы моста под нагрузкой.

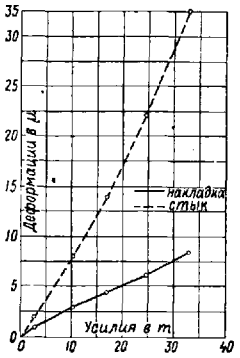
А. Металлические мосты. Перед испытанием пролетного строения под нагрузкой ставится задача выяснения следующих трех вопросов: 1) общего состояния пролетного строения; 2) действительного характера работы отдельных его конструктивных частей и дефективных или усиленных элементов и 3) интенсивности действительного динамического воздействия нагрузки на пролетное строение. Наиболее сложным из этих трех вопросов является первый, т. е. выяснение по результатам испытания моста под нагрузкой его общего состояния. Полное разрешение этого вопроса требует еще весьма глубоких и тонких исследований как природы металла М., так и природы работы заклепочных соединений. В настоящее время при испытании моста под нагрузкой имеются два признака, способных отчасти служить для сравнительной оценки общего состояния пролетных строений: 1) отношение действительного прогиба моста к соответствующему теоретическому (конструктивная поправка прогиба) и 2) скорость затухания свободных колебаний. Дело в том, что действительный прогиб главных ферм (обычно в середине пролета) вообще не м. б. равен теоретическому, определяемому для плоскостной шарнирной схемы, причем можно назвать две основных причины, способных вызывать разницу между этими величинами. Первая причина—влияние на прогиб М. действительной жесткости узлов, пространственности конструкции и различного рода дополнительных частей (фасонок, накладок, соединительных решеток и пр.), имеющихся в действительных пролетных строениях и не учитываемых при подборе сечений стержней. Все эти три фактора действуют на величину прогиба М. понижающе. Вторая причина—упругие расхождения в стыках и прикреплениях элементов, вследствие наличия соответствующих деформаций изгиба в заклепочных соединениях. Что эти деформации существуют и имеют достаточно заметную величину, доказывается не только результатами соответствующих лабораторных исследований, к-рые произведены как у нас, так и за границей, но и опытными измерениями, осуществленными на самих мостах. Для примера приводим две диаграммы, к-рые характеризуют деформации в стыковой накладке и в стыке вертикального листа вытянутого (фиг. 24) и сжатого (фиг. 25) раскоса. Из рассмотрения графиков видно, насколько значительно стыковые расхождения превосходят соответствующие деформации в накладках. Таким образом, если обозначить величину прогиба шарнирной плоскостной фермы через $f_ш$., величину влияния на прогиб моста первой причины через $f_ж$., а второй причины через $f_з$., то действительный прогиб моста f м. б. представлен в следующем виде:

$$f = f_ш. - f_ж. + f_з., \qquad (1)$$

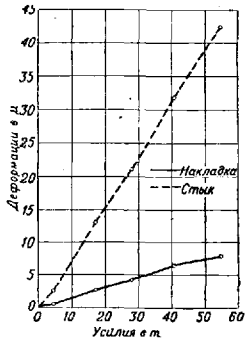
откуда получаем отношение между действительным и теоретич. прогибом (конструктивную поправку прогиба):

$$\frac{f}{f_ш.} = 1 - \frac{f_ж. - f_з.}{f_ш.}. \qquad (2)$$

Влияние жесткости узлов и пространственности конструкции на прогиб М. весьма невелико—порядка 4—5%; поэтому величина $f_ж$. наиболее существенно зависит от участия в работе стержней различных дополнительных частей: чем больше последних, тем больше $f_ж$., тем меньше будет прогиб f. Количество указанных дополнительных частей характеризуется так наз. средним конструктивным коэф-том веса М., т. е. отношением действительного веса к теоретическому, исчисленному по теоретич. площадям сечений элементов. Т. к. для однотипных М. этот средний конструктивный коэф-т м. б. принят приближенно за постоянную величину (для балочных М. ~ 1,75), то можно считать, что относительное влияние $f_ж$., т. е. $f_ж. : f_ш.$ для подобных М. меняется несущественно; в таком случае приходим к выводу, что заметная разница в значениях конструктивных поправок прогибов ($f_ж. : f_ш.$) для однотипных мостов является результатом неодинаковости величин деформаций в заклепочных соединениях, причем бо́льшие по величине поправки указывают на существование и бо́льших по своему относительному значению деформаций. Признавая (вполне обоснованно), что бо́льшие по величине расхождения в стыках являются отрицательными признаками, которые указывают на худшую работу заклепочных соединений, можно считать, что бо́льшие конструктивные поправки прогибов указывают на менее удовлетворительное состояние пролетного строения. Из выражения (2) следует, что при $f_ж. = f_з.$ конструктивная поправка $\frac{f}{f_ш.} = 1$, при $f_з. > f_ж.$ она больше 1, и



Фиг. 24.



Фиг. 25.

при $f_з. < f_ж.$—меньше 1. Точного соотношения между $f_ж.$ и $f_з.$ до сих пор не установлено в виду исключительной трудности и экспериментального и теоретич. определения величины $f_з.$; однако, судя по результатам определения отношений $f_з. : f_ш.$ для весьма значительного числа подвергавшихся испытаниям М., для которых как правило эти отношения всегда получались меньшими 1, можно считать, что вообще $f_з. < f_ж.$ Отсюда с достаточной очевидностью вытекает необходимость весьма осторожного отношения к пролетным строениям, имеющим конструктивную поправку прогиба больше 1; состояние заклепочных соединений подобных пролетных строений д. б. самым тщательным образом проверено путем простукивания заклепок. В некоторых, правда довольно редких, случаях не удается произвести достаточно удовлетворительного измерения прогиба ферм при помощи имеющихся для этой цели приборов (напр. при очень большой высоте расположения моста, когда приходится применять весьма большой длины проволоку, измерение к-рой не м. б. произведено с необходимой точностью при достаточно значительном ветре или при сильной скорости течения воды; или же при половодьи или ледоходе, когда измерения прогибов вообще произвести невозможно). Во всех этих случаях величину прогиба можно определить по периоду собственных свободных вертикальных колебаний пролетного строения. Период этот, как известно, выражается ф-лой:

$$T_y = 2\pi\sqrt{\frac{f_p}{g}}, \qquad (3)$$

где f_p—прогиб М. от действия собственного его пог. веса p, а $g = 9{,}81$ *м/сек*²—ускорение силы тяжести. Т. к. прогиб f_q от действия временной пог. нагрузки q д. б. равен

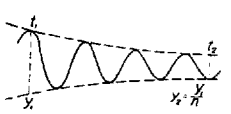
$$f_q = f_p \cdot \frac{q}{p},$$

то, вставляя сюда f_p из выражения (3), получим:

$$f_q = \frac{T_y^2 g}{4\pi^2} \cdot \frac{q}{p}. \qquad (4)$$

Т. о. зная T_y можно, не измеряя непосредственно прогиба, знать его величину.

Вторая характеристика, получаемая при испытании пролетного строения под нагрузкой и позволяющая отчасти судить об общем его состоянии,—скорость затухания собственных свободных колебаний—вытекает из следующих соображений. Вообще затухание свободных колебаний происходит вследствие наличия различного рода внешних и внутренних сопротивлений, причем чем больше эти сопротивления, тем быстрее затухают свободные колебания, и наоборот. При колебаниях М. внешними сопротивлениями являются гл. образом силы трения в опорных частях и сопротивление воздуха, а сопротивлениями внутренними—главным обр. внутренние сопротивления в заклепочных соединениях. Ясно, что для пролетных строений одной и той же системы и величины пролета влияние внешних сопротивлений на скорость затухания, при отсутствии резкой разницы в состоянии опорных частей в отношении защемления и загрязненности, д. б. одно и то же. Отсюда вывод: существование в подобных по системе и пролету мостах заметно разных по величине скоростей затухания свободных колебаний свидетельствует о наличии различных внутренних сопротивлений в их заклепочных соединениях, а т. к. заклепочные соединения с большими внутренними сопротивлениями являются соединениями менее удовлетворительными, то следовательно более высокие скорости затухания характеризуют менее удовлетворительное состояние пролетного строения. Скорость затухания свободных колебаний определяется нижеследующим образом. Если допустим, что те сопротивления, вследствие к-рых свободные колебания постепенно затухают, прямо пропорциональны скорости колебаний, то кривая затухания амплитуд, т. е. закон изменения ординат, заключающихся между линиями, являющимися огибающими кривой колебаний (фиг. 26), выразится следующим уравнением:



Фиг. 26.

$$y = Ae^{-\varepsilon t}, \qquad (5)$$

где ε—коэфициент, пропорциональный указанным сопротивлениям, а A—наибольшая амплитуда свободных колебаний (в момент времени $t = 0$). Для определения ε на кривой, выражаемой ур-ием (5), можно взять две точки с ординатами y_2 и $y_1 = ny_2$ (где n—какое-либо целое число), соответствующими моментам времени t_2 и t_1; тогда

$$y_1 = Ae^{-\varepsilon t_1} \text{ и } y_2 = Ae^{-\varepsilon t_2},$$

откуда

$$\frac{y_1}{y_2} = n = e^{\varepsilon(t_2 - t_1)} \text{ и } \varepsilon = \frac{\ln n}{t_2 - t_1}. \qquad (6)$$

Скорость затухания z характеризуется т. н. декрементом затухания—произведением величины ε на период свободных колебаний T, т. е.

$$z = \varepsilon T = T \cdot \frac{\ln n}{t_2 - t_1}, \qquad (7)$$

причем n обычно берется равным 2. Многочисленные опытные измерения показывают, что действительные периоды как вертикальных, так и горизонтальных поперечных собственных свободных колебаний ж.-д. балочных пролетных строений хорошо укладываются на прямые, выражаемые ур-иями

$$T_y = 0{,}004l \qquad (8)$$

и

$$T_x = 0{,}008l, \qquad (9)$$

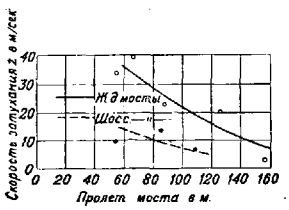
где l—пролет моста; в выражении (7) можно поэтому вместо T поставить l, т. е. скорость затухания определять ур-ием:

$$z = l\varepsilon = l\frac{\ln n}{t_2 - t_1}. \qquad (10)$$

В настоящее время определенно известно, что скорость затухания свободных вертикальных колебаний заметно падает с увеличением пролета. Для примера на фиг. 27 дана зависимость этих скоростей от пролета, полученная по результатам исследования ряда ж.-д. М. Из графиков видно, что скорости затухания оказываются различными для железнодорожных М. и шоссейных М., причем для последних они заметно меньше.

Вторым вопросом при испытании моста под нагрузкой является выяснение действительного характера работы отдельных его конструктивных частей, а также усиленных или дефективных элементов. Здесь трудно дать какие-либо общие указания: программа необходимых измерений в каждом отдельном случае будет различна: все зависит от типа и особенностей подвергающегося испытанию объекта.

Что же касается тех измерений, которые следует производить при испытании мостов, которые подвергались усилению или имеют те или иные внешние дефекты и повреждения, то здесь следует иметь в виду необходимость обязательного выяснения степени участия в действительной работе усиленных элементов частей, поставленных в результате усиления, а также действительного характера работы дефективных и поврежденных элементов и влияния их на работу других элементов.



Фиг. 27.

Третьим вопросом, стоящим при испытании М. под нагрузкой, является выяснение интенсивности действительного динамич. воздействия нагрузки на пролетное строение. Вопрос этот имеет существенное значение по той причине, что до сих пор М. рассчитываются, строго говоря, на действие статич. нагрузки, увеличенной лишь умножением на динамич. коэф., к-рый определяется весьма приближенно по нек-рым эмпирическим формулам, совершенно не способным оценить ни истинного характера, ни действительной интенсивности динамич. воздействия подвижной нагрузки. Природа этого динамич. воздействия очень сложна; основными факторами, определяющими ее, являются: 1) скорость движения, 2) периодически меняющиеся по величине силы, развивающиеся в подвижной нагрузке, и 3) ударные силы. Влияние первого фактора очень незначительно. Влияние второго фактора имеет существенное значение для ж.-д. М., т. к. при проходе паровозов, являющихся вообще машинами неуравновешенными в вертикальной плоскости, образуются переменные вертикальные силы, меняющиеся по закону, близкому к синусоидальному, с периодом, равным обороту колеса паровоза. От действия этих неуравновешенных сил возникают правильные колебания М., имеющие период, равный периоду действия указанных сил (т. е. периоду оборота колеса паровоза). Наибольшие амплитуды колебаний получаются в том случае, когда величина этого периода совпадает с периодом свободных вертикальных колебаний М. вместе с нагрузкой; в этом случае образуется явление резонанса, т. е. правильный рост амплитуд колебаний, причем интенсивность этого возрастания амплитуд определяется коэфициентом ε, пропорциональным сопротивлениям, имеющим место при колебаниях М. Для примера на фиг. 28 изображена диаграмма прогиба середины М. пролетом 126 *м*, снятая при проходе паровоза серии Ч (0—4—0) со скоростью, соответствующей явлению резонанса. Скорость эта называется критической, так как именно при ней деформации в пролетном строении достигают при данной нагрузке своих наибольших значений; величина ее v определяется по формуле

$$v = \frac{\pi D}{T_y}, \qquad (11)$$

где D—диаметр колеса паровоза, а T_y—период свободных колебаний М. вместе с нагрузкой; при этом можно принять, что

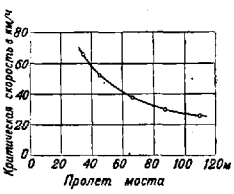
$$T_y = 0{,}004 l \sqrt{\frac{p+q}{p}},$$

где p и q имеют то же значение, что и в выражении (4). Из ф-лы (11) можно видеть, что величина критич. скорости тем больше, чем меньше пролет. Для примера на диаграмме (фиг. 29) показана зависимость критической скорости от пролета М. для поезда, состоящего из одного паровоза серии Э, имеющего $D=1{,}32$ *м*, с товарными вагонами.

Ударные воздействия подвижной нагрузки на М. образуются в ж.-д. М. при проходе колес подвижного состава по рельсовым стыкам, а в шоссейных мостах—при проходе колес экипажей по неровностям настила. К числу ударных же воздействий необходимо отнести также ходьбу людей и топот животных на шоссейных М. Когда все эти ударные силы действуют беспорядочно, без определенного ритма, то, нейтрализуя друг друга, они не могут создать сильного повышения динамич. эффекта, так как сама по себе величина этих ударов, взятых в отдельности, весьма невелика; лишь для М. очень небольших пролетов, имеющих малую массу, удары при проходе нагрузки по неровностям пути (рельсовым стыкам в ж.-д. М. и выбоинам в настиле в шоссейных М.) будут иметь некоторое значение. Совсем иная картина получается, как только удары способны приобрести правильную периодичность, т. к. при совпадении периода ударных воздействий с периодом свободных колебаний М. вместе с нагрузкой образуется явление резонанса и динамич. эффект резко повышается. Для примера на фиг. 30

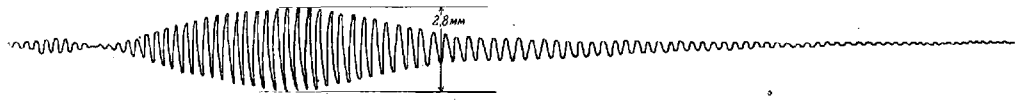


Фиг. 28.



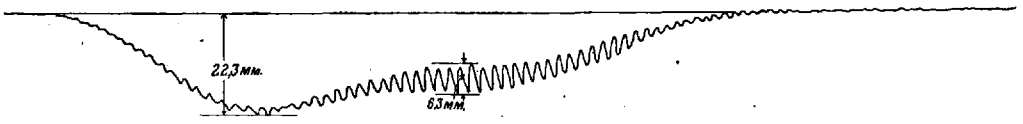
Фиг. 29.

изображена диаграмма прогиба середины 87-*м* шоссейного М., снятая во время бега одного человека по мосту правильным ритмом, совпадавшим с ритмом свободных вертикальных колебаний самого М. Чтобы оценить в данном случае динамический эффект, заметим следующее. Если бы тот же человек прошел по М. обычным шагом, то прогиб



Фиг. 30.

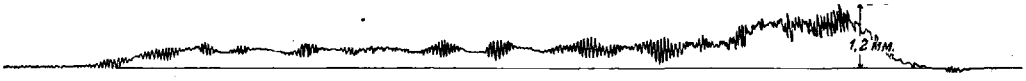
получился бы настолько ничтожным, что он даже не был бы зарегистрирован прибором,—получилась бы прямая линия. Особенно серьезным становится динамич. эффект при проходе и пробеге по мосту целой толпы людей в ногу с ритмом, соответствующим ритму свободных колебаний М. вместе с нагрузкой; в этом случае величина удара, слагающаяся из ударов многих людей, резко возрастает, в связи с чем резко возрастает и амплитуда колебаний, которая при достаточных размерах толпы может достигнуть даже величин, влекущих за собой обрушение М., что и наблюдалось неоднократно. По этим соображениям проход по М. сплошной толпы в ногу не разрешается. В ж.-д. мостах ударные воздействия, возникающие при проходе колес состава по рельсовым стыкам, могут также приобретать правильный ритм, когда нормальные товарные вагоны имеют одинаковые расстояния между осями, например 3,8 *м*. Нетрудно себе представить, что при движении такой вагонной нагрузки со скоростью $v = \frac{3,8}{T_y}$ будет иметь место явление резонанса, т. е. совпадение периода действия ударов при проходе вагонных скатов по рельсовому стыку с периодом T_y свободных вертикальных колебаний моста с нагрузкой. Для примера на фиг. 31 изображена диаграмма прогиба середины



Фиг. 31.

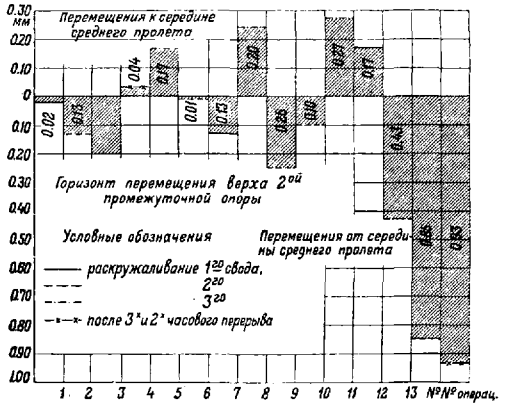
109-*м* моста, имевшего посредине пролета рельсовый стык с большим зазором (~15 *мм*). Диаграмма снята была при проходе поезда, состоявшего из одного паровоза серии 0 (0—4—0) с двухосными нормальными товарными вагонами; во второй части ее (с меньшими по абсолютной величине ординатами), соответствующей как раз проходу по мосту вагонной нагрузки, имеется правильное резонансное нарастание амплитуд колебаний до нек-рого предела, определяемого значением коэф-та ε для данного М. Из изложенного ясно, что динамич. испытание М. должно выяснить фактическую его работу в самых неблагоприятных условиях, т. е. или при явлении резонанса или при максимальных возможных скоростях движения. Т. к. критические скорости, дающие явление резонанса, для М. малых пролетов оказываются очень большими, то для этих М. максимальный динамич. эффект соответствует проходу нагрузки с максимальной скоростью. При производстве динамич. испытаний обычно подвергаются измерению: а) прогиб в середине пролета главных ферм, б) продольные горизонтальные перемещения подвижных концов главных ферм, в) поперечные горизонтальные колебания середины пролетного строения и г) напряжения хотя бы в одном элементе пояса и решетки главных ферм.

Б. М а с с и в н ы е М. Испытание массивных М. не получило еще такого большого развития, как испытание металлич. М., вследствие большой мощности этих М. и меньшей реакции их на воздействие временных нагрузок. Исследования массивных М. производятся с помощью тех же измерительных приборов, что и исследования металлич. мостов; результаты этих исследований, несмотря на малые деформации массивных М., являющиеся достаточно надежными, позволяют уже сделать некоторые выводы, имеющие практич. значение; например исследование динамич. коэф-тов обнаружило, с одной стороны, что действительные величины их несколько меньше, чем принимающиеся при расчете железобетонных жел.-дор. мостов, а с другой стороны, что железобетонные М., несмотря на значительную величину своей массы и на наличие балластного корыта, весьма чувствительно реагируют на удары, возникающие при проходе по ним подвижной нагрузки. Для иллюстрации на фиг. 32 приведена диаграмма прогиба середины 45-*м* арочного двухпутного железобетонного М., снятая при проходе по нему двух встречных поездов; на диаграмме хорошо видны те значительные колебания, которые испытывал М. от ударов, возникавших при проходе колес нагрузки по среднему рельсовому стыку, имевшему как раз большой зазор. Исследование вертикальной жесткости железобетонных М., выполненное сравнением измеренных опытным путем прогибов с тео-



Фиг. 32.

ретическими, определенными для различных соотношений между модулями упругости бетона и железа, позволило установить, что это отношение заметно меньше, чем обычно принимается в расчете, и в среднем оказывается ≅ 7—8. Объяснением этого факта может служить увеличение прочности бетона с временем, установленное, как известно, соответствующими исследованиями лабораторных образцов. Произведенное измерение деформаций при раскружаливании сводов каменного М. и сравнение их с деформациями теоретическими выяснило действительное значение модуля упругости каменной (в данном случае гранитной) кладки, к-рый



Фиг. 33.

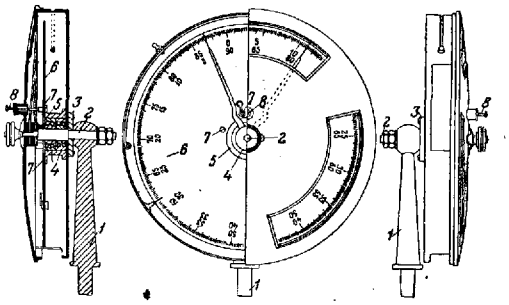
оказался равным 60 000 *кг/см²*, что совпадает с цифрой, предусмотренной нормами. Следует отметить, что вообще раскружаливание сводов каменных М., являющееся самым ответственным моментом в их жизни, весьма желательно вести, сопровождая его измерением наиболее ответственных деформаций—вертикальных перемещений, ключевых и горизонтальных перемещений пятовых точек сводов; особенно полезными подобные измерения следует признать в случае раскружаливания сводов многопролетных М., т. к. они позволяют регулировать равномерность опускания отдельных сводов и горизонтальных перемещений пятовых их точек. На фиг. 33 изображен график горизонтальных продольных перемещений верха промежуточной опоры, который построен по результатам измерений, производившихся при раскружаливании сводов трехпролетного каменного М. Приведенный график дает наглядное представление о последовательных перемещениях верха промежуточной опоры в течение всего процесса раскружаливания, причем большая величина перемещения, получившаяся после окончания раскружаливания, объясняется тем, что в данном случае пролеты моста были разные. Что касается узко эксплоатационных испытаний массивных М., подобных соответствующим испытаниям металлического М., то методика их еще совсем не выработана; в то же время можно считать, что для массивных М. подобные узко эксплоатационные испытания под временной нагрузкой не столь необходимы и показательны, как для металлических М., по той простой причине, что эта временная нагрузка для массивных мостов, особенно каменных и бетонных, составляет незначительную долю их полной расчетной нагрузки.

В. Деревянные М. Методика испытания деревянных М. является еще менее разработанной, чем методика испытания М. массивных. В общем она аналогична методике исследования металлич. М. и касается измерений прогибов и напряжений. Специальными исследованиями работы деревянных мостов в СССР занимался упомянутый выше Институт инженерных исследований НКПС. По существующим у нас технич. условиям на сооружение деревянных ж.-д. М. предусматривается обязательность производства испытания этих М. под временной нагрузкой как статической, так и динамической, причем допускаемый упругий статич. прогиб деревянных М. со сквозными фермами при действии расчетной временной нагрузки не должен превосходить величины, определяемой ф-лой:

$$f_1 = \frac{5}{24} \cdot \frac{nl^2}{Eh} m,$$

где n—допускаемое напряжение дерева на изгиб в *кг/см²*, l—расчетн. пролет М. в *см*, h—конструктивная высота ферм в *см*, E—модуль упругости дерева (110 000 *кг/см²*), а коэфициент m равен: для ферм системы Гау 1,10, Лембке 1,20 и Тауна 1,30. Кроме измерения прогибов желательно при испытаниях деревянных М. производить измерения расхождений в стыках досок и брусьев; результаты этих измерений характеризуют степень удовлетворительности работы соответствующих стыковых соединений.

Приборы для испытания М. В настоящее время существует весьма большое количество специальных точных приборов, служащих для измерения деформаций в М.,



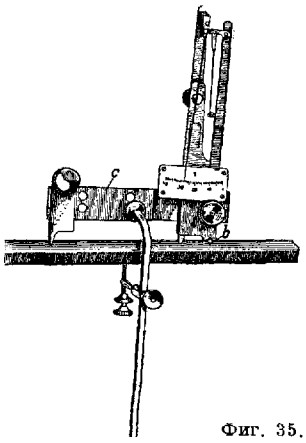
Фиг. 34.

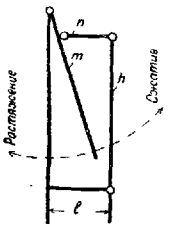
причем все они м. б. разбиты на две основные группы: 1) приборы, способные регистрировать деформации только при статич. действии нагрузки; 2) приборы, приспособленные для регистрации деформаций при динамич. действии нагрузки. Ниже приводится краткое описание только новейших приборов.

Прогибомер инж. Н. Максимова (фиг. 34), служащий для измерения статич. прогибов, состоит из точеной стойки *1*, на верх к-рой насажена ось *2*, несущая на себе на шарикоподшипниках *4* шкив *5*, к торцу к-рого прикреплен диск *6* с циферблатом. Диам. окружности, по к-рой нанесены на циферблате де-

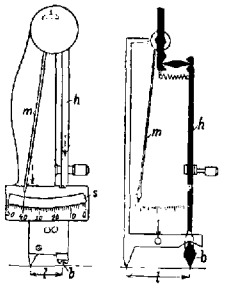
ления, в 5 раз больше диам. шкива. Насаженные на ось 2 две стрелки имеют симметричные выгибы, которыми они могут обжимать штифтик 7, расположенный на радиусе, проходящем через нулевое деление шкалы; в прижатом к штифтику 7 состоянии концы стрелок указывают на нуль; штифтик 7 может ложиться на диск, тогда он не мешает движению шкива и диска. Штифтик 8 со спиральной пружиной, помещенной в специальном цилиндре, прикрепленном к крышке прибора, служит для приведения стрелок в нулевое положение. Кроме двух подвижных стрелок, насаженных на ось 2, имеется еще неподвижная стрелочка, прикрепленная к коробке прибора. Шкала разделена на 450 частей. Весь прибор заключен в металлич. коробку, прикрепленную к шайбе 3, со съемной крышкой, могущей поворачиваться. При измерении стойка 1 вставляется в специальную струбцинку, привертываемую к М.; через шкив 5 перекидывается проволока или специальная стальная лента, один конец которой связан с проволокой, идущей к неподвижной по отношению к М. точке, а к другому концу подвешивается грузик, создающий постоянное натяжение в проволоке. При прогибе М. шкив вместе с диском-циферблатом поворачивается, причем при непрерывном наблюдении за изменением величины прогиба можно пользоваться неподвижной стрелочкой, при желании же получить только максимальные величины прогибов пользуются двумя другими стрелками; в этом случае перед испытанием они приводятся в нулевое положение при приподнятом штифтике 7; при прогибе в одну сторону одна из стрелок повертывается вместе со шкивом, другая остается на месте; прогиб в обратном направлении регистрируется второй стрелкой. Масштаб увеличения прибора 5 : 1. Опыт трехлетнего применения этого прибора в СССР дал весьма удовлетворительные результаты.

Экстензометр Гуггенбергера (Huggenberger, фиг. 35) служит для измерения удлинений материала между двумя точками. Состоит он из двух неравноплечих рычагов h и m, из к-рых последний является одновременно указательной стрелкой; распорка n служит для передачи перемещения верха рычага h стрелке m; не трудно представить, что при удлинении базы l прибора конец стрелки m пойдет влево (растяжение), при укорочении—вправо (сжатие). База l в приборе равна 2 *см*; она может быть увеличена употреблением дополнительных штанг c, имеющих длину 10, 20, 50, 80 и 100 *см*, к к-рым прибор может привинчиваться специальным зажимным винтом; в этом случае прибор располагается несколько наклонно, с тем чтобы он касался исследуемого элемента только одним острием b. Прикрепление прибора к исследуемому М. осуществляется помощью специальных зажимных струбцинок разнообразной формы. Масштаб увеличения в среднем ок. 850 : 1. Для работы на М. модель, изображенная на фиг. 35 (т. н. модель В), неудобна тем, что механизм прибора не защищен от действия атмосферных влияний. В настоящее время имеется другая модель (А), в этом отношении более удобная, так как наиболее сложная по конструкции часть прибора заключена в коробочку (фиг. 36); кроме того в этой модели шкала прибора имеет зеркало s, позволяющее делать более точно отсчеты. Масштаб увеличения в приборах модели А также больше, в среднем ок. 1 100 : 1. Обе модели при значительном ветре на М. не позволяют делать удовлетворительных отсчетов, т. к. стрелки приборов сильно колеблются. По измеренным удлинениям и модулю упругости материала можно знать напряжения в нем.



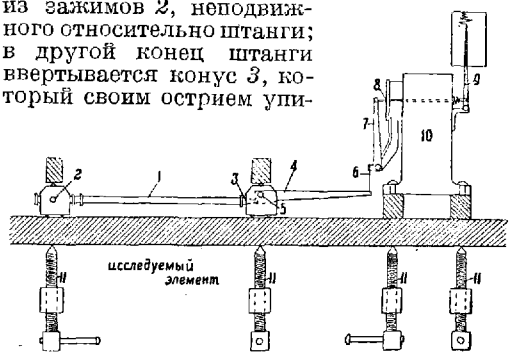


Фиг. 35.



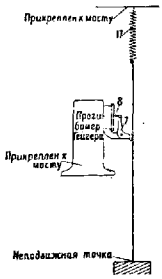
Фиг. 36.

Экстензометр Гейгера (фиг. 37) употребляют для измерения удлинений между двумя точками материала при динамич. действии нагрузки. Он состоит из двух главных частей: 1) коробки с часовым механизмом и приспособлением для записи диаграммы изменения удлинения; 2) штанги с двумя зажимами для прикрепления ее к исследуемому элементу. Штанга 1 длиной 250 и 500 *мм* представляет собою полую трубку с внутренней нарезкой; одним концом она ввертывается в ось одного из зажимов 2, неподвижного относительно штанги; в другой конец штанги ввертывается конус 3, который своим острием упирается в коленчатый рычаг 4, имеющий ось вращения во втором зажиме 5 штанги. На конце рычага 4 имеется углубление, в к-рое вставлена игла 6, другим своим концом упирающаяся в углубление рычага 7; послед-



Фиг. 37.

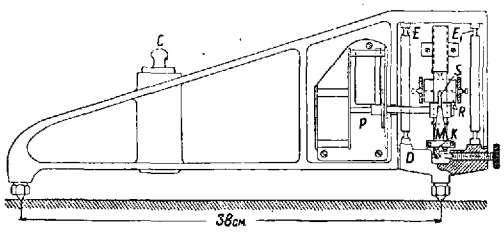
ний своим концом прижимается к игле *8*, проходящей через отверстие в коробке *10* часового механизма, снабженной пружиной и соединенной с пишущим пером *9*. Не трудно видеть, что при изменении расстояния между зажимами *2* и *5* штанги это изменение помощью указанной выше системы рычагов передается в известном масштабе на конец пишущего пера. Как зажимы, так и коробка с часовым механизмом прижимаются к исследуемому элементу помощью специальных струбцинок *11*. Помощью коробки экстензометра Гейгера можно производить и измерение прогибов при динамическом действии нагрузки. Институт инженерных исследований НКПС с успехом применяет при этом способ, схематично изображенный на фиг. 38. К мосту прикрепляется только коробка прибора Гейгера с коленчатым рычагом *7*; между мостом и неподвижной по отношению к нему точкой (дном реки) натягивается помощью пружины *12* вертикальная проволока, имеющая на уровне коленчатого рычага прибора отросток, входящий в углубление на конце этого рычага. Т. к. в проволоке все время действует постоянное натяжение, равное натяжению пружины, то при вертикальных перемещениях М., происходящих вместе с прибором, происходит одновременно и поворот рычага 7, передающийся затем иглой *8* на ленту. В последнее время Гейгер предложил усовершенствованную модель своего прибора, в к-рой часовой механизм отделен от остальной части прибора; кроме того в этой модели прибор заключен в закрытую коробку.



Фиг. 38.

Виброграф Гейгера может регистрировать колебания М. как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Описание см. *Колебательные движения*.

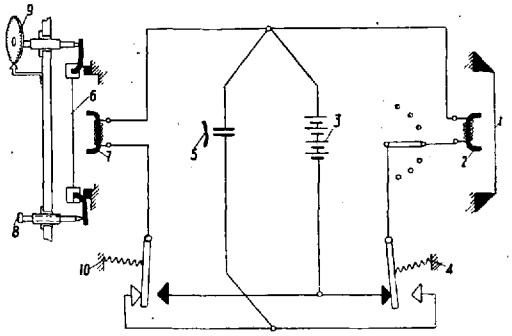
Экстензометр Cambridge Stress Recorder служит для измерения удлинений материала между двумя точками при динамическом



Фиг. 39.

действии нагрузки. Схема его устройства изображена на фиг. 39. Измерения могут производиться на базе, равной 38 *см* (15 дм.). Прибор состоит из тяжелой металлич. рамы-коробки, имеющей два закрытых отделения, в одном из к-рых помещается часовой механизм *P*, а в другом подвижная часть прибора и пишущее приспособление. Прибор прижимается к испытываемому элементу тремя острыми конусами специальной струбцинкой, нажимающей на выступ *C* рамы. Два конуса неподвижны, третий, связанный с частью *D* прибора, может вместе с нею поступательно перемещаться благодаря наличию соответствующих шарниров *E* и E_1. Это перемещение части *D* передается рычагу *K*, связанному с пишущим пером *M*, снабженным на конце острым штифтиком *S*, царапающим диаграмму на целлюлоидной ленте *R*. Увеличение на ленте равно 10, так что диаграмма затем рассматривается в специальный микроскоп, дающий возможность делать непосредственно отсчеты напряжений для различных модулей упругости материала. Большого распространения при исследовании М. этот прибор не получил.

Экстензометр Шефера (O. Schaefer) фирмы Майхак служит для измерения удлинений материала между двумя точками под статической нагрузкой. По принципу действия он отличается от всех описанных выше приборов и относится к разряду акустических струнных приборов. Основная схема измерений этим прибором приведена на

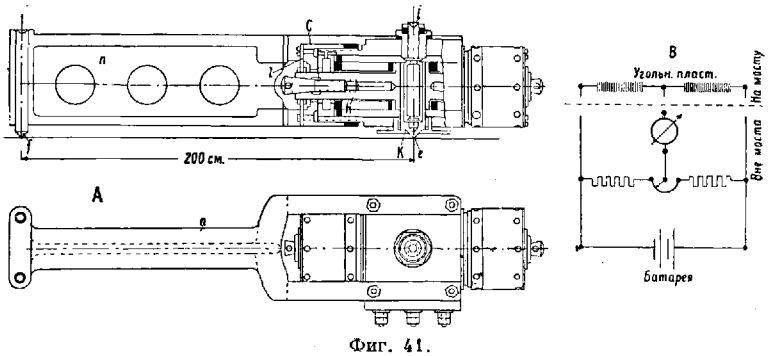


Фиг. 40.

фиг. 40. На исследуемом элементе прикрепляется струна *1*, к-рая снабжена постоянным магнитом *2* с катушками на полюсах; катушки эти включены в общую электрич. цепь, питаемую батареей *3*; при нажатии кнопки *4* ток проходит через катушки, усиливает магнитное поле постоянного магнита и притягивает к себе струну *1*; при отпуске кнопки *4* струна приходит в колебательное движение, вызывающее в катушках магнита *2* индуктированные токи, проходящие, как нетрудно видеть из схемы, через телефон *5*, в который можно слышать звук с высотой тона, соответствующей натяжению струны. Непосредственно в самом приборе заключена струна *6* с таким же магнитным приспособлением 7, включенным в ту же электрич. цепь, что и струна *1* на исследуемом элементе. Натяжение струны *6* может меняться винтами *8* и *9*, причем вращение последнего фиксируется показаниями соответствующей шкалы. Звучание струны *6* совершенно таким же способом, как и струны *1*, передается при отпуске нажатой кнопки *10* в телефон *5*. Изменяя винтом *9* натяжение струны *6* и заставляя ее звучать в унисон с струной *1*, можно отмечать по шкале отсчет, соответствующий первоначальному натяжению измерительной струны. При загружении исследуемого элемента натяжение струны *1*, а следовательно и тон ее звучания, меняется. Эта разница в тоне определяется по той же шкале *9*. Т. к. между длиной струны и

числом ее свободных колебаний (т. е. тоном) существует прямолинейная зависимость, то упомянутая разность дает в известном масштабе и удлинение. Длина базы прибора (расстояние между исследуемыми точками) 15 *см*. Для включения различных струн, которые находятся на испытуемом элементе, служит рукоятка. Для усиления звука в электрич. цепь включается обычно еще специальный усилитель.

Т е л е м е т р ы. В самое последнее время появились приборы, к-рые относятся по принципу своего действия к типу электрических. Они служат для измерения удлинений между двумя точками материала. Самый прибор (фиг. 41, А) состоит из металлич. вилкообразной рамки *n*, соединенной с коробкой *c*, имеющей внутри продольную диафрагму *h*, разделенную по середине своей длины вертикальным полым цилиндриком *k*, снабженным на нижнем конце коническим острием *e*; подобное же острие *f* имеется и на одном из концов рамки *n*; острия *e* и *f* служат для прижатия прибора помощью специальных струбцинок к исследуемому образцу, причем для того, чтобы можно было сделать это в отношении острия *f*, внутри полого цилиндра *k* вставлен стержень *i*, снабженный двумя шарнирами, делающими возможным независимое поступательное перемещение цилиндра *k* по отношению к стержню *i*. Диафрагма *h* может перемещаться вместе с цилиндром *k* и изменять при этом взаимные расстояния между насаженными на нее угольными пластинками (служащими сопротивлениями) так. обр., что пластинки на одной половине диафрагмы сближаются, а на другой раздвигаются, что ведет к изменению величины сопротивления в каждой половине диафрагмы. Помощью трех проводов, заключенных в один кабель, прибор включается в цепь мостика Витстона (фиг. 41, В), расположенного в специальном измерительном помещении, могущем находиться вдали от моста. При изменении расстояния между остриями *e* и *f*, т. е. при наличии деформации в исследуемом элементе, образуется разница в сопротивлениях угольных пластинок одной и другой половины диафрагмы *h*, к-рая вызывает изменение силы тока в мостике Витстона. При статическ. действии нагрузки это изменение силы тока можно регистрировать миллиамперметром; при динамической нагрузке вместо миллиамперметра употребляется осциллограф, регистрирующий деформацию помощью воздействия светового луча на фотографическую пленку, в последующем проявляемую и увеличиваемую.



Фиг. 41.

Организация осмотра и испытания М. на ж. д. СССР. Все М. с металлич. пролетными строениями на ж. д. СССР подвергаются периодически осмотру и испытанию. В зависимости от продолжительности срока осмотра существующими правилами различаются три вида его: 1) текущий, 2) годовой и 3) периодический. Т е к у щ и й о с м о т р производится не менее, чем два раза в месяц, тем дорожным мастером, в непосредственном ведении к-рого находится данный М. В основном содержание текущего осмотра заключается в регистрации возможных наружных повреждений и дефектов в регуляционных сооружениях перед М., в опорах и пролетных строениях (особенно в балках проезжей части), с обращением особого внимания на факторы, к-рые указаны выше (см. Надзор за состоянием М.). При текущем же осмотре производится также и выстукивание заклепочных соединений и регистрация обнаруженных слабых заклепок. Никаких инструментальных съемок, за исключением простейших необходимых обмеров, как правило при текущем осмотре не производится. Данные, полученные в результате этого осмотра, заносятся в специальную книгу текущих осмотров, хранящуюся у дорожного мастера. Г о д о в о й о с м о т р М. производится один раз в год начальником участка пути, примерно в объеме, изложенном выше; не обязательны лишь геодезич. съемки. Результаты этого осмотра заносятся или в упомянутую книгу текущих осмотров или в специальную матрикульную книгу, если таковая заведена для данного М. Матрикульные книги, имеющие целью фиксировать историю жизни сооружения с момента окончания его постройки, заводятся начальником участка пути по специальной форме для М. следующих категорий: а) имеющих пролетные строения с величиной пролета $\geqslant 50$ *м*; б) имеющих общее отверстие в 100 *м* и более, независимо от величины пролетов, и в) имеющих очень высокие насыпи (15 *м* и более), независимо от величины пролета. П е р и о д и ч е с к о е о с в и д е т е л ь с т в о в а н и е М., состоящее из осмотра и испытания под нагрузкой, производится для большинства М. через каждые 6 лет; исключение составляют М., расположенные на второстепенных линиях, где такие освидетельствования могут производиться через 8 лет; кроме того для М. новых первое после приемки периодич. освидетельствование назначается через 2 г. Периодич. осмотр и испытание М. под нагрузкой производятся во всем согласно изложенному в помещенных выше разделах, посвященных осмотру и испытанию М. под нагрузкой. Периодические освидетельствования большинства М. (с от-

дельными пролетами выше 30 м) производятся специальными подвижными организациями—районными испытательными станциями (в Москве, Саратове и Киеве), находящимися в ведении Центрального управления ж.-д. транспорта. В настоящее время правила периодического освидетельствования и испытания М. с металлич. пролетными строениями перерабатываются. **С. Ильясевич.**

Усиление мостов.

Усиление металлических М. Если какое-либо металлическое пролетное строение, вследствие недостаточной прочности его в целом или в отдельных частях, перестает удовлетворять условиям эксплоатации, то во многих случаях целесообразно поставить вопрос о сохранении его для дальнейшей эксплоатации посредством усиления прочности до допускаемых нормами пределов. Усиление пролетного строения целесообразно лишь при удовлетворительном его состоянии или при дефектах, устранение которых м. б. произведено без ущерба для эксплоатации и не чрезмерно велико по стоимости. Целесообразность и экономичность усиления выявляются каждый раз в каждом отдельном случае и целиком зависят от выбора способа усиления и объема работ. Основной предпосылкой при этом является необходимость производства работ без полного перерыва движения, к-рый допустим лишь на самый короткий срок и не должен представлять существенных стеснений для эксплоатации дороги.

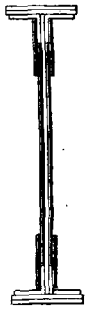
Усиление м. б. капитальное или частичное. Первое производится на нагрузку, одинаковую с применяемой для новых М. Второе применяют при наличии благоприятных конструктивных условий для устранения расчетных перенапряжений в элементах М. от нагрузки, подлежащей введению в обращение на дороге в ближайшее время или действующей, в случае если такая нагрузка обращается по М. с какими-либо ограничениями. При этом всегда одновременно с усилением необходимо устранять конструктивные недостатки и дефекты, могущие уменьшить расчетную прочность. Как правило



Фиг. 42.

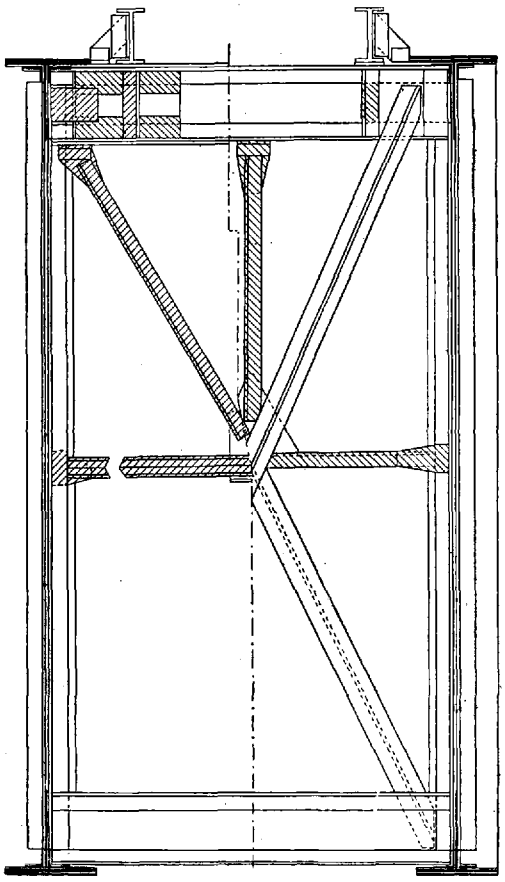


Фиг. 43.



Фиг. 44.

капитальное усиление наиболее рационально производится путем изменения тем или иным способом системы пролетного строения или путем добавления новых частей, которые в основном мало затрагивают существующую конструкцию (например добавление третьей фермы — см. ниже). В противоположность капитальному усилению, частичное усиление целесообразнее всего выполнять методами непосредственного увеличения существующих сечений, а иногда

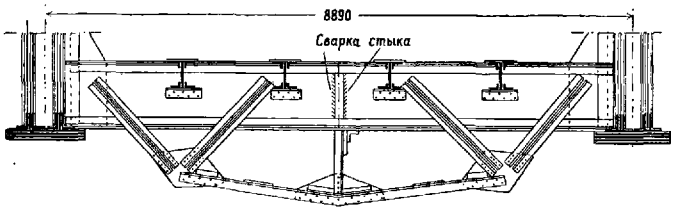


Фиг. 45 и 46.

сменой отдельных частей или путем постановки деревянной разгружающей опоры. Из вышеизложенного ясно, что при частичном усилении, доводящем прочность до пределов, достаточных только на сравнительно короткий срок, следует предусматривать возможность и дальнейшего усиления, почему часто в этих целях проектируют т. наз. прогрессивное усиление. Очевидно, при достижении благоприятных результатов этот прием должен явиться наиболее экономичным, т. к. одновременно он требует меньших капитальных вложений и имеет наименьшую капитализированную стоимость. Для усиления обычно употребляют металл, удовлетворяющий кондиционным условиям и обладающий качествами не ниже свойственных усиляемой конструкции. Различные способы усиления металлических М. м. б. сведены к нижеследующему.

1) Усиление сплошных балок и сквозных ферм непосредственным увеличением сечений. Недостаток прочности в сплошных балках может оказаться как в основном сечении,

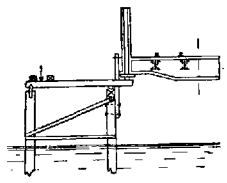
работающем на изгиб и скалывание, так и в заклепочных соединениях. Для увеличения момента сопротивления балки наклепывают дополнительные горизонтальные листовые накладки (фиг. 42) или вертикальные стенки в пределах поясов (фиг. 43). Сопротивление стенки скалыванию может быть увеличено путем наклепки в необходимых местах вертикальных накладок (фиг. 44). Недостаточную прочность заклепочных соединений можно легко устранить поочередным рассверливанием заклепок на больший диаметр, если прикрепление не дает места для добавления новых заклепок, хотя бы и малого диаметра, или обращением имеющихся заклепок в четырехсрезные (фиг. 45). Когда перенапряжения велики или движение совершенно не м. б. прервано, возможно усиление путем добавления к балкам шпренгелей. На фиг. 46 представлен пример усиления шпренгелем поперечной балки моста с ездой поверху, причем использовано наличие поперечных связей. Другой пример



Фиг. 47.

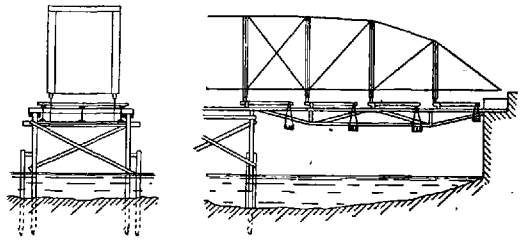
аналогичного усиления показан в двухпутном М. (фиг. 47) с ездой понизу, причем шпренгель изготовляется совершенно самостоятельно.

Увеличение прочности поясов и элементов решетки сквозных ферм методом непосредственного усиления сечений их возможно самыми различными приемами. Необходимо только всегда иметь в виду, что новый металл нужно устанавливать с наименьшей переклепкой существующих заклепок. В необходимых случаях следует учитывать перераспределение напряжений от постоянной нагрузки. Иногда повышение прочности сечений части или всех элементов решетки м. б. достигнуто путем добавления новых стержней, т. е. изменением системы решетки. Весьма часто сжатые стержни решетки оказываются наиболее слабыми. В таких случаях увеличение моментов инерции или же уменьшение вновь устанавливаемыми поперечными связями свободной длины сжатых работающих на продольный изгиб стержней весьма часто просто решает задачу. Всегда необходимо иметь в виду, что вновь наклепанный металл не принимает участия в работе на постоянную нагрузку, если только его постановка не сопровождается разгрузкой существующей конструкции от собственного веса. Эту разгрузку целесообразнее всего производить при помощи рычагов с противовесами. Основы устройства рычагов ясны

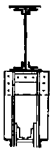

Фиг. 48.

из фиг. 48 и 49. Для противовесов применяются преимущественно старые рельсы.

В связи с широким развитием за последнее время сварочного дела и началом при-


Фиг. 49.

менения сварки при усилении, методы непосредственного увеличения сечений начинают приобретать большее, чем ранее, значение. Объясняется это обстоятельство тем, что замена заклепок сваркой позволяет усилять стержни, не переклепывая существующих заклепок, как это например видно на фиг. 50.



2) Усиление главных ферм добавлением новых ферм. В целях капитальн. усиления существующие главные фермы могут быть усилены путем передачи части вертикальной нагрузки на дополнительные фермы. Последние устанавливаются либо снаружи, по одной рядом с каждой из существующих (фиг. 51) либо одна в середине М. (фиг. 52). Этот способ усиления уступает во многом указанному ниже и основанному на принципе изменения системы, но в нек-рых случаях он оказывается единственно возможным, так как он не меняет местных условий (например подмостового габарита и пр.) и применим при любой схеме ферм существующего М. Наибольшее внимание при его применении д. б. уделено обеспечению правильности работы отдельных ферм.


Фиг. 50.

3) Усиление главных ферм путем изменения системы. Изменение схемы существующих ферм в целях капитального их усиления является наиболее рациональным приемом. Выбор способа при этом целиком зависит от местных и экономических условий. Возможны следующие способы. Если многопролетный мост образован разрезными балочными фермами с параллельными поясами, имеющими благоприятные условия у опор для наклепки на них нового металла, то с технической стороны не представляет затруднений обращение этих разрезных ферм в двухпролетные, или даже в многопролетные неразрезные балки, путем соединения их над существующими опорами. Наличие благоприятных местных и конструктивных условий во многих случаях делает возможным усиление разрезных балочных мостов при помощи разгрузной цепи или арки. Первая применяется чаще