ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАХ А. Н., БЕРНШТЕЙН-КОГАН С. В., ВЕЙС А. Л., ВИЛЬЯМС В. Р., ВОЛЬФСОН М. Б., ГЕНДЛЕР Е. С., ГУБКИН И. М., ДОЛГОВ А. Н., ИОФФЕ А. Ф., ИПАТЬЕВ В. Н., КАГАН В. Ф., КАЛИННИКОВ И. А., КЕРЖЕНЦЕВ П. М., КИРПИЧЕВ М. В., 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., ОСАДЧИЙ П. С., СВЕРДЛОВ В. М., ФЕДОРОВСКИЙ Н. М., ШАТЕЛЕН М. А., ШМИДТ О. Ю., ЭССЕН А. М.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Л. К. МАРТЕНС

ТОМ ДЕВЯТЫЙ

ИЗОМЕРИЯ—КАТАПУЛЬТА

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»
МОСКВА ✧ 1929

Издание осуществляется Акционерным Обществом «Советская Энциклопедия» при Коммунистической Академии ЦИК СССР, пайщиками которого состоят: Государственное Издательство РСФСР, Государственное Медицинское Издательство РСФСР, Издательство Коммунистической Академии, ВЦСПС, Издательство «Вопросы Труда», Издательство «Работник Просвещения», Издательство Н. К. Рабоче-Крестьянской Инспекции СССР, Издательство «Известия ЦИК СССР», Издательство «Правда», Акционерное Общество «Международная Книга», Государственный Банк СССР, Банк Долгосрочного Кредитования Промышленности и Электрохозяйства СССР, Внешторгбанк СССР, Мосполиграф, Госстрах СССР, Центробумтрест, Центросоюз, Госпромцветмет, Всесоюзный Текстильный Синдикат, Анилтрест, Азнефть, Резинотрест, Сахаротрест, Орудийно-Арсенальный Трест. Председатель Правления Н. Н. Накоряков. Члены: О. Ю. Шмидт, И. Е. Гершензон, А. П. Сиунде, П. Г. Саратовцев, Л. И. Стронгин, Э. Ф. Розенталь.

Редакционная работа по IX тому ТЭ закончена 1 декабря 1929 г.

Адрес Редакции Технической Энциклопедии: Москва, Остоженка, 1.
Адрес конторы Акционерного Об-ва: Москва, Волхонка, 14.

16-я типография «Мосполиграф», Москва, Трехпрудный пер., 9.
Главлит А 36 933. Тираж 21 000 экз.

РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

РЕДАКЦИОННОЕ БЮРО

Главный Редактор—проф. **Л. К. Мартенс.** | Пом. Гл. Редактора—инж. **А. Л. Вейс.**
Зам. Гл. Редактора—проф. **М. Б. Вольфсон.** | Зав. Издат. Частью—**К. С. Кузьминский.**

РЕДАКТОРЫ ОТДЕЛОВ

Авиация, воздухоплавание.
Юрьев Б. Н., проф.
Автомобильное дело, авиац. и автомобильные двигатели, двигатели внутрен. сгорания.
Брилинг Н. Р., проф.
Гиттис В. Ю., проф.
Мартенс Л. К., проф.
Архитектура, строительное дело, городское благоустройство, коммунальное хоз-во.
Долгов А. Н., проф.
Щусев А. В., акад. архит.
Запорожец И. К., архит.
Красин Г. Б., инж.
Белоусов В. Я.
Астрономия.
Михайлов А. А., проф.
Бумажное производство.
Жеребов Л. П., проф.
Военная и морская техника, судостроение.
Власьев Н. И.
Струнников В. Т., проф.
Фишман Я. М.
Геодезия (высшая и низшая).
Бонч-Бруевич М. Д.
Орлов П. М., проф.
Гидротехника, гидравлика.
Эссен А. М., инж.
Детали машин и подъемные механизмы.
Холмогоров И. М., проф.
Сидоров А. И., проф.
Добыв. промышл., горное дело.
Губкин И. М., акад.
а) Геология и минералогия.
Федоровский Н. М., проф.
б) Драгоценные камни.
Ферсман А. Е., акад.
в) Каменный уголь.
Терпигорев А. М., проф.
г) Нефть.
Губкин И. М., акад.
д) Руда металлическая.
Таубе Е. А., проф.
е) Силикатн. промышленность.
Швецов Б. С., проф.
Юрганов В. В., проф.
ж) Торф.
Радченко И. И.
Дороги и дор. строительство.
Крынин Д. П., проф.

Железнодорожное дело.
Энгельгардт Ю. В., проф.
Кожевенное дело.
Поварнин Г. Г., проф.
Красящие вещества, крашение и ситцепечатание.
Порай-Кошиц А. Е., проф.
Лесоводство.
Кобранов Н. П., проф.
Математика.
Каган В. Ф., проф.
Материаловедение.
Флоренский П. А., проф.
Металлургия черных и цветных металлов.
Павлов М. А., проф.
Евангулов М. Г., проф.
Механика прикладная и теория механизмов.
Малышев А. П., проф.
Радциг А. А., проф.
Механика строительная и графостатика.
Прокофьев И. П., проф.
Механика теоретическая.
Некрасов А. И., проф.
Мосты.
Передерий Г. П., проф.
Стрелецкий Н. С., проф.
Мукомольное дело, мельницы и элеваторы.
Пакуто М. М., проф.
Козьмин П. А., проф.
Организация производства, стандартизация.
Керженцев П. М.
Шпильрейн И. Н., проф.
Бурдянский И. М., инж.
Ноа Ф. Г., инж.
Паровые котлы и машины.
Металлические изделия.
Саттель Э. А., инж.
Полиграфическая промышленность.
Вольфсон М. Б., проф.
Михайлов С. М.
Промышленная гигиена и техника безопасности.
Каплун С. И., проф.
Хлопин Г. В., проф.
Радиотехника.
Баженов В. И., проф.

Резиновое производство.
Лурье М. А., инж.
Сельское хозяйство, с.-х. машины и орудия.
Вильямс В. Р., проф.
Сопротивление материалов.
Худяков П. К., проф.
Текстильное дело и технология волокнистых веществ.
Линде В. В., проф.
Теплотехника, термодинамика, энергетика.
Кирпичев М. В., проф.
Рамзин Л. К., проф.
Соловьев П. М., проф.
Техника освещения.
Лапиров-Скобло М. Я., проф.
Технология и производство взрывчатых веществ.
Ипатьев В. Н., акад.
Технология дерева.
Дешевой М. А., проф.
Квятковский М. Ф., проф.
Технология и обработка металлов.
Грачев К. Ф., проф.
Чарновский Н. Ф., проф.
Технология строительных материалов.
Эвальд В. В., проф.
Лахтин Н. К., проф.
Технология углеводов, винокурение, пивоварение.
Церевитинов Ф. В., проф.
Физика.
Иоффе А. Ф., акад.
Лебединский В. К., проф.
Химич. промышленность.
Шеин С. Д., инж.
Химия (орган., неорган., физ. химия и хим. технология).
Бах А. Н., акад.
Холодильное дело.
Рязанцев А. В., проф.
Экономика.
Вольфсон М. Б., проф.
Гинзбург А. М.
Электротехника.
Осадчий П. С., проф.
Юрьев М. Ю., проф.
Шпильрейн Я. Н., проф.
Кулебакин В. С., проф.

Соредакторы: проф. **Беркенгейм Б. М.; Медведев С. С.; Янковский В. М.; Серебренников М. Г.;** проф. **Попов А. С.;** проф. **Смирнов Н. Н.;** проф. **Лебедев С. Ф.;** инж. **Белькинд Л. Д.;** проф. **Вавилов С. И.;** инж. **Эстрин С. Г.;** инж. **Соколов Н. В.**

Научные сотрудники: канд. хим. **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. **Эрвальд К. А.;** Зав. библиогр.: инж. **Таубман С. И.**

Пом. Зав. Изд. Частью: **Маркус В. А.;** Зав. Иллюстр. отд.: **Тавастшерна В. Я.;** Зав. Худ.-Тех. отд.: **Варшавский Л. Р.;** Тех. Ред.: **Волконский С. Н., Гришинский А. С., Гришинский В. С., Никаноров В. М.;** Пом. Тех. Ред.: **Лоховиц А. Б.;** Технич. Редакция при типогр.: **Малкин А. Д., Ошер А. Н., Ротштейн Н. А.;** Зав. Коррект.: **Колянковский Д. П.**

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*).
тμ 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 микрограмм (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).
$\not>$ не больше ($\not<$ не меньше).
$\cong$ приблизительно равно.
$\geqslant$ больше или равно.
$\leqslant$ меньше или равно.
$\gg$ значительно больше.
$\ll$ значительно меньше.
$\measuredangle$ угол, измеряемый дугой.
$\parallel$ параллельно.
$\perp$ перпендикулярно.
$\div$ от—до.
sin синус.
tg тангенс.
sc секанс.
cos косинус.
ctg котангенс.
csc косеканс.
arc sin арксинус.
arc tg арктангенс.
sh гиперболический синус.
ch гиперболическ. косинус.
th » тангенс.
$\varnothing$ диаметр.
e основание натуральных логарифмов.
lg логарифм десятичный.
ln » натуральный.
lim предел.
Const постоянная величина.
$\sum$ сумма.
$\int$ интеграл.
$\sim$ приблизительно.
∞ бесконечность.
d полный дифференциал.
∂ 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.
$A_{c_1}, A_{c_2}, A_{c_3}$ } критич. точки
$A_{r_1}, A_{r_2}, A_{r_3}$ } желез. сплавов.
g ускорение силы тяжести.
l длина.
m масса.
$D^{t_1}_{t_2}$ уд. вес при $t_1°$ по отношению к воде при $t_2°$.
$[\alpha]$; $[\alpha]_D$ угол вращения плоскости поляризации.
$C_н$; $[H^+]$ концентрация водородных ионов.
pH; $P_н$ водородн. показатель.

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:
°K—Кельвина,
°C, °Ц.—Цельсия (100°-й),
°P.—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.
выс.—высота.
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—коэффициент полезного действия.
к-рый—который.
к-та—кислота.
Lfg.—Lieferung, Lieferungen.
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).
промышл.—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 и его переработка, 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, Leipzig.
«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, 1 Auflage, 1915—23, 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.

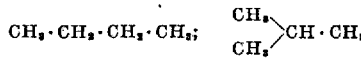
В девятом томе ТЭ помещены 762 иллюстрации в тексте, одна карта (в красках) к статье «Каменный уголь» и четыре вкладки к статьям: «Изотопы» — 1, «Испытание материалов» — 1, «Ископаемые угли» — 1, «Калильная сетка», «Канва» и «Каракуль» — 1 (общая вкладка).

И

ИЗОМЕРИЯ, явление, заключающееся в том, что несколько соединений с одинаковым мол. весом и тождественных по составу, т. е. отвечающих одной и той же эмпирич. ф-ле, обладают различными химич. и физич. свойствами; подобные соединения называются изомерными или изомерами. В области органич. химии явление И. встречается чрезвычайно часто и является главной причиной исключительного многообразия органич. соединений. В минеральной химии, наоборот, И. наблюдается только как редкое исключение.

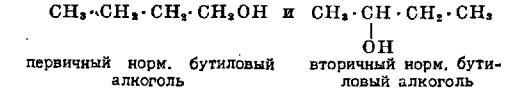
Явления И. находят объяснение в теории химич. строения. Согласно последней свойства индивидуальных соединений зависят не только от природы атомов, составляющих молекулу данного соединения, и от их числовых соотношений, но в значительной степени и от порядка распределения связей между этими атомами.

Порядок взаимного сцепления атомов в веществе (его строение, или структура) м. б. выражен посредством определен. условных обозначений, так назыв. структурных ф-л. С этой точки зрения изомерами называют такие соединения, к-рые при одной и той же эмпирич. формуле обладают различным строением. Так, напр., соединение состава C_4H_{10}, бутан, может существовать в двух изомерных формах, к-рым соответствует строение:



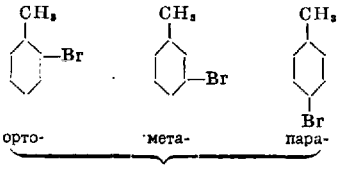
норм. бутан — изобутан

С возрастанием числа углеродных атомов увеличивается и число возможных изомеров: для пентана, C_5H_{12}, возможны три изомера, для гексана, C_6H_{14},—пять, для гептана, C_7H_{16},—девять, для октана, C_8H_{18},—восемнадцать и т. д. Подобные изомерные соединения, отличающиеся друг от друга порядком распределения связей между углеродными атомами, составляющими цепи (или циклы в циклич. соединениях), характеризуют собою И. скелета. Для И. места или положения типичны те случаи, когда несколько соединений отличаются друг от друга только положением заместителей (атомов или атомных группировок) при одинаковом строении углеродных цепей или циклов. Примером этого вида изомерии могут служить гидроксильные производные бутана



первичный норм. бутиловый алкоголь — вторичный норм. бутиловый алкоголь

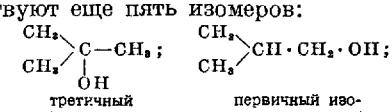
или бромпроизводные толуола



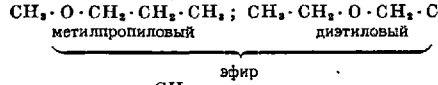
орто- мета- пара-

бромтолуол

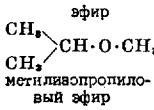
Возможность смешанной И. (скелета и положения) увеличивает число изомеров, еще более возрастающее при наличии в молекуле многовалентных элементов. Так, для соединений, отвечающих ф-ле $C_4H_{10}O$, кроме двух вышеприведенных бутиловых алкоголей, существуют еще пять изомеров:



третичный — первичный изобутиловый алкоголь

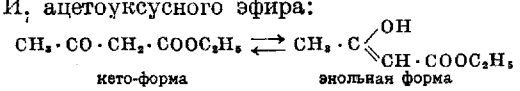


метилпропиловый — диэтиловый эфир



метилизопропиловый эфир

Эти виды И. связаны с существованием устойчивых необратимых изомерных соединений; превращение одного изомера в другой может происходить лишь в результате сложных химич. процессов и не всегда осуществимо. Вместе с этим существует особый тип динамической И., когда изомерные формы находятся в состоянии подвижного равновесия (см. *Таутомерия*). Примером этого вида И. является, напр., кето-энольная И. ацетоуксусного эфира:



кето-форма — энольная форма

Причиной И. может служить не только различие в порядке сцепления атомов, со-

ставляющих данную молекулу, но и нек-рые различия в пространственном расположении этих атомов относительно друг друга. Это различное распределение атомов в пространстве—или, как говорят, различная конфигурация—обусловливает существование особого вида И. — стереоизомерии (см. *Стереохимия*).

Лит.: Чичибабин А., Основные начала органической химии, М.—Л., 1925; Meyer V. u. Jacobsen P., Lehrbuch d. organischen Chemie, B. 1—2, B.—Lpz., 1922—24. **С. Медведев.**

ИЗОМОРФИЗМ, явление, заключающееся в том, что разные твердые кристаллические вещества неодинакового (но, в известной степени, аналогичного) химич. состава кристаллизуются в одинаковой кристаллографич. системе и в одинаковом кристаллографич. классе. И. был установлен впервые Митчерлихом (в 1820 г.) на примере фосфорнокислых и мышьяковокислых солей. Близкая кристаллич. структура изоморфных соединений находит себе выражение в том факте, что кристаллы одного из изоморфных друг другу веществ, будучи погружены в насыщенный раствор другого изоморфного вещества, могут обрастать с поверхности слоем этого вещества, а также и в том, что изоморфные друг другу вещества могут выкристаллизоваться из смешанного раствора в виде общих кристаллов; такие кристаллы содержат оба вещества в непостоянном количественном отношении, зависящем от количественного соотношения изоморфных веществ в растворе.

$KMnO_4$ и $KClO_4$ выкристаллизовываются из раствора обоих веществ в виде общих кристаллов ромбической системы. Сернокислые соли многих двувалентных металлов кристаллизуются с семью частицами кристаллизационной воды в виде смешанных кристаллов и образуют, как говорят, «изоморфный ряд» купоросов: $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$; $NiSO_4 \cdot 7H_2O$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и т. д. То обстоятельство, что изоморфные вещества выкристаллизовываются в виде общих кристаллов смешанного состава, несомненно свидетельствует о какой-то общности в химизме их строения, и в изоморфные ряды б. ч. попадают элементы, близкие по свойствам, хотя иногда в одинаковые изоморфные ряды приходится относить, казалось бы, и совсем несходные друг с другом элементы.

Как показал Гримм, И. находится в следующей зависимости от атомных радиусов элементов в состоянии их ионов. 1) При одинаковом строении ионов условия И. определяются последовательностью в величинах радиусов ионов. Эта разница уменьшается в таблице слева направо по мере возрастания величины положительной валентности. Вместе с этим уменьшается и влияние этой разницы на условия И. 2) Различие в строении ионов гелиевой и неоновой конфигурации, очевидно, обусловливает отсутствие И. соответственных элементов. 3) Сущность «химич. сходства» или «химич. родства» элементов изоморфных рядов состоит у ионов с одинаковой наружной электронной оболочкой

Смесимость изоморфных соединений элементов (по Вульфу).

Строение атомов типа	Заряд—валентность									Примечания
	−2	−1	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	
He	—	—	Li	Be	B	C	N	—	—	Эти элементы или вовсе не замещают стоящие под ними или же замещают при высокой $t°$, при высоком значении валентности или в крупных молекулах
Ne	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	
Ar	S	Cl	R	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	
Kr	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	—	Стоящие друг под другом элементы принадлежат к изоморфным рядам
Xe	Fe	J	Cs	Ba	La	Ce	Ta	W	—	
Ar	S	Cl	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	—	Стоящие друг под другом элементы представляют конечные члены изоморфных рядов
Xe	Fe	J	Cs	Ba	La	Ce	Ta	W	—	

Пояснение знаков: = смесимость не установлена; — смесимость лишь при высокой темп-ре; ... установлены следы смесимости; || установлена полная смесимость или разрывы в смесимости неизвестны; | смесимость значительная, есть разрывы в смесимости; ⋮ смесимость мала, с большими разрывами; отсутствие знаков указывает на отсутствие данных в литературе.

И.—явление, весьма распространенное в химии земной коры; многие минералы представляют собою изоморфные смеси (см. *Твердые растворы*) аналогичных по химическому строению соединений различных элементов. Величина кристаллографич. констант кристаллов таких изоморфных смесей (например величина углов граней) имеет значение промежуточное по сравнению с величинами соответствующих констант отдельных входящих в изоморфную смесь соединений и колеблется в зависимости от того, какой из их ингредиентов содержится в смеси в большем количестве. Так, например, в близости ионных радиусов. Согласно исследованиям Ретгерса, изоморфные вещества смешиваются без изменения объема, т. е. объем изоморфной смеси равен сумме объемов смешиваемых кристаллов: $v = v_1 + v_2$. Если обозначить через s, s_1 и s_2 удельные объемы изоморфной смеси и ее компонентов, а через P и $(100 - P)$ %-ное содержание ингредиентов, то

$$s = s_1 + \frac{P}{100}(s_2 - s_1).$$

Приняв за d, d_1 и d_2—уд. в. смеси и ее составных частей, имеем для изоморфной смеси:

$$d(v_1 + v_2) = d_1 v_1 + d_2 v_2;$$

а так как $v_1 + v_2 = 100$, то получаем

$$d = d_1 + \frac{v_2}{100}(d_2 - d_1).$$

Это ур-ие Ретгерса определяет линейную зависимость между удельным весом и объемным составом смеси.

Ниже приведены примеры нек-рых изоморфных друг другу минералов.

Известковый шпат $CaCO_3$	Апатит $Ca_5P_3O_{12}Cl$
Магнезит $MgCO_3$	Пироморфит $Pb_5P_3O_{12}Cl$
Горький шпат $(Ca, Mg)CO_3$	Миметезит $Pb_5As_3O_{12}Cl$
Железный шпат $FeCO_3$	Кампилит $Pb_5(As,P)_3O_{12}Cl$
Марганцовый шпат $MnCO_3$	Гедифан $(Pb,Ca)_5(As,P)_3O_{12}Cl$
Цинковый шпат $ZnCO_3$	Эндлихит $Pb_5(As,V)_3O_{12}Cl$
	Ванадинит $Pb_5V_3O_{12}Cl$
Витерит $BaCO_3$	Тяжелый шпат $BaSO_4$
Стронцианит $SrCO_3$	Целестин $SrSO_4$
Арагонит $CaCO_3$	Ангидрит $CaSO_4$
Белая свинцовая руда $PbCO_3$	Свинцовый купорос $PbSO_4$

В приведенной выше таблице сопоставлены взаимоотношения химических элементов с точки зрения строения их атомов и способности образовывать изоморфные ряды.

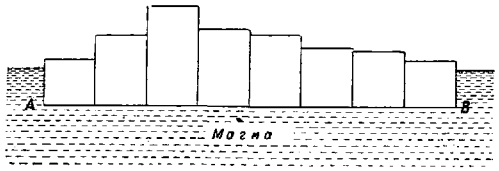
Исследование изоморфных смесей при помощи рентгеновских лучей доказало, что кристаллы изоморфных смесей совершенно однородны и отдельные сходные атомы изоморфных соединений занимают вполне закономерное положение в общей структуре кристаллич. решетки.

Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, 9 издание, т. 1—2, Москва—Ленинград, 1927—28; Вернадский В. И., Минералогия, вып. 1, Петербург, 1910. **Б. Беркенгейм.**

ИЗОПЕРИМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ, задачи *вариационного исчисления* (см.), общая формулировка к-рых следующая: среди всех кривых $y=f(x)$, проходящих через точки (x_0, y_0), (x_1, y_1), для к-рых $\int_{x_0}^{x_1} \Phi(x, y, y')\,dx = l$ (Φ—данная ф-ия, l—данное число), найти такую, для которой $\int_{x_0}^{x_1} F(x, y, y')\,dx$ имеет экстремум (F—данная ф-ия). Простейшая И. з. состоит в следующем: найти из всех кривых данной длины такую, которая ограничивает наибольшую площадь. Этой кривой оказывается окружность. Данная задача м. б. решена как методом вариационного исчисления, так и элементарными методами.

ИЗОСТАЗИЯ, геофизич. теория строения земной коры, возникшая для объяснения отклонений отвеса и аномалий силы тяжести, наблюдаемых при геодезич. измерениях. Теория И. сводится к тому, что масса вещества во всех вертикальных столбцах одинакового сечения, вырезанных в земной коре, величина постоянная. Поэтому давление на нижнюю поверхность AB (фиг. 1) во всех столбцах одинаково, и каждый отдельный столбец находится в состоянии равновесия. Принимается, что плотность вещества в пределах одного столбца одинакова во всех его точках и обратно пропорциональна общей высоте данного столбца. Вследствие этого плотность земной коры под горами меньше, чем под низкими местами и, в особенности, чем под дном океанов. Иными словами, видимые массы гор компенсируются соответствующим недостатком масс (из-за уменьшения плотности) в лежащих под горами частях земной коры. Этим объясняется, почему наблюдаемые отклонения отвеса, а также аномалии силы тяжести обычно бывают гораздо меньше, чем следовало бы ожидать на основании видимых возмущающих масс, возвышающихся над уровнем моря.

Ниже поверхности AB, называемой поверхностью И. (т. е. равного давления), расположены правильные, невозмущенные слои, находящиеся в пластическ. состоянии (магма). Отдельные участки земной коры можно рассматривать как плавающие на магме, при чем каждый столбец вытесняет, по закону Архимеда, равное ему по весу количество магмы. Плотность δ столбцов определяется формулой $\delta(T+h)=\text{Const}$, где T—глубина поверхности И. и h—высота верхнего основания столбца (физич. поверхности земли) над уровнем моря. Для точки земной коры под океаном величину h надо брать отрицательной и равной глубине океана.



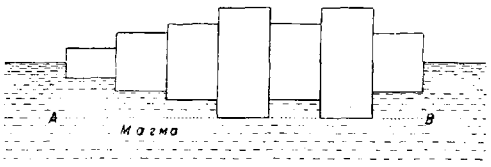
Фиг. 1.

В этом случае нужно в левой части формулы прибавить давление столба воды, равное 1,03 h, где числовой коэффициент есть плотность морской воды.

Для вычисления влияния изостатически построенной земной коры на направление отвеса или силу тяжести всю земную поверхность разбивают на ряд концентрич. колец постепенно возрастающей ширины, имеющих центр в исследуемой точке (в работах Гейфорда число таких колец равно 33). Каждое кольцо подразделяется радиусами еще на ряд секторов (до 28). По топографич. карте определяют среднюю высоту h каждого кольцевого сектора и, задаваясь некоторой глубиной T поверхности И., рассчитывают по данной ф-ле плотность соответствующих столбцов. Затем вычисляют притяжение каждого столбца на данную точку, при чем горизонтальная слагающая дает отклонение отвеса, а вертикальная—влияние на силу тяжести. Суммируя притяжение всех столбцов, получают т. н. изостатическую редукцию. Для облегчения вычислений служат специальные таблицы (Гейфорда, Бови, Мейснера). Глубину T путем проб подбирают таким образом, чтобы дать наилучшее согласие между наблюденными отклонениями отвеса или аномалиями силы тяжести и вычисленными.

Наряду с изложенной теорией, называемой теорией Пратта, существует другая гипотеза, предложенная Эри (Airy). По Эри, земная кора имеет всюду одинаковую плотность (обычно принимается 2,67), меньшую плотности магмы, на к-рой кора плавает. Каждый отдельный столбец коры тоже находится в состоянии равновесия, погружаясь в магму на глубину, пропорциональную его общей высоте. Под высокими горами глубина эта больше, чем под дном морей (фиг. 2).

С геохимич. стороны такая схема объясняется различием состава коры и магмы: первая состоит преимущественно из саля (Si, Al), вторая—из симы (Si, Mg), большей плотности. И в теории Эри можно говорить про нек-рую поверхность равного давления: это



Фиг. 2.

поверхность AB (фиг. 2), проведенная под наиболее глубокими частями земной коры.

Теория И. получила наиболее широкое применение при обработке геодезич. измерений в Америке. Гейфорд нашел, что наилучшее согласование между наблюденными и вычисленными отклонениями отвеса и аномалиями силы тяжести получается при $T=122$ *км* (позже он получил глубину в 102 *км*), при чем остающиеся отклонения отвеса уменьшились в 10 раз по сравнению с первоначальной величиной, выведенной без изостатич. редукции. Бови обработал многочисленные определения силы тяжести, также найдя значительное уменьшение аномалий. Наилучшим значением T он считает 96 *км*. Большая работа проделана финским геодезистом Гейскаценом, обработавшим определения силы тяжести с точки зрения обеих гипотез. Он нашел, что гипотеза Эри дает несколько лучшие результаты, чем гипотеза Пратта.

В настоящее время не приходится сомневаться в том, что теория И. в значительной степени соответствует действительному строению земной коры. Отдельные части коры могут и не быть изостатически компенсированными, и даже достигнутое полное равновесие неминуемо должно нарушаться перемещением масс на земной поверхности, связанным с явлением эрозии, вулканизма и т. п. Отсюда возникает вопрос, каковы по своим размерам те участки земной коры, которые могут оставаться некомпенсированными, будучи поддерживаемы не столько уравновешивающим их снизу давлением магмы, сколько сцеплением с соседними частями коры. Этот вопрос имеет большое теоретическое, а также и практическое значение, т. к. восстановление отсутствующего или нарушенного равновесия достигается путем перемещений частей земной коры, вызывающих колебания уровня земной поверхности и сейсмич. явления. Значение теории И. в геодезии также велико, так как теория эта позволяет наиболее полным образом учитывать отклонения отвеса и аномалии силы тяжести и тем самым определять элементы земного сфероида в меньшей зависимости от местных влияний. Элементы международного сфероида Гейфорда определены именно таким образом.

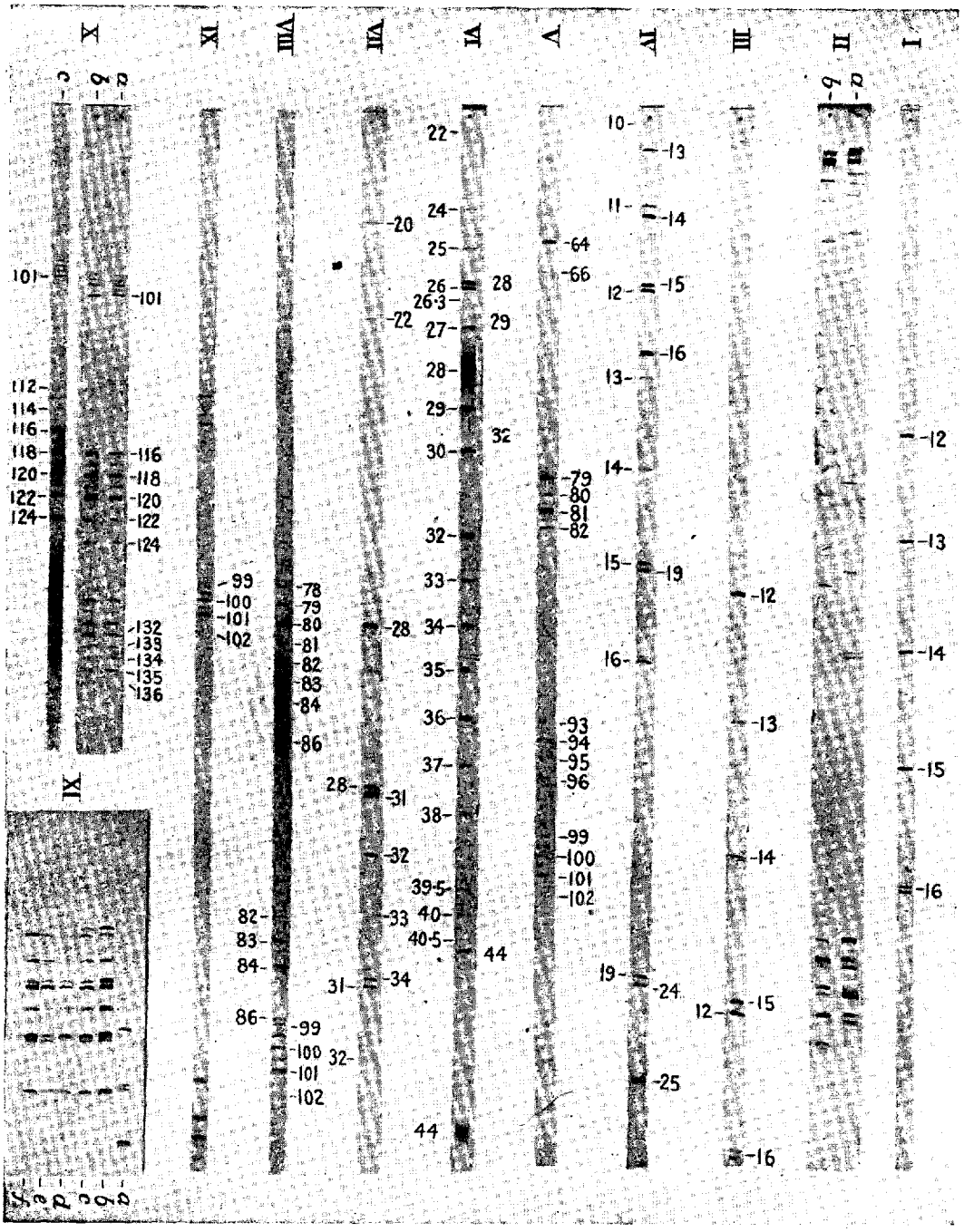
Лит.: Прей А., Теория изостазии, ее развитие и результаты, «Успехи физических наук», М., 1926, т. 6; Perrier G., Les raisons géodésiques de l'isostasie terrestre, «Annuaire du Bureau des longitudes pour l'an 1926», Paris, 1926; Bowie W., Isostasy, New York, 1927; Bowie W., Investigation of Gravity a. Isostasy, Wsh., 1917; Hayford J., The Figure of the Earth and Isostasy from the Measurements in the United States, Wsh., 1909; Hayford J. a. Bowie W., The Effect of Topography a. Isostatik Compensation upon the Intensity of Gravity, Wsh., 1912; Heiskanen W., Untersuchungen über Schwerkraft u. Isostasie, «Veröffentlichungen d. Finn. Geodäs. Inst.», Helsinki, 1924, 4; Jeffreys H., The Earth, Cambridge, 2d ed., 1929; Meissner O., Tabellen zur isostatischen Reduktion der Schwerkraft, «Astronomische Nachrichten», Kiel, 1928, B. 206, p. 25—44.

А. Михайлов.

ИЗОТЕРМА, линия равной или постоянной $t°$, графически изображающая зависимость между величинами, характеризующими состояние какого-нибудь тела или системы тел при условии постоянства $t°$. Пример И.—кривая, выражающая зависимость между давлением и объемом газа при постоянной $t°$ (см. *Газ*). Вообще, если состояние системы изображается точкой, при чем координатами точки являются параметры, определяющие состояние, то И. называется линия, соединяющая точки равной $t°$.

И. в геофизике. Строят И. аналогично *изобарам* (см.). Изотермы и их изменения во времени позволили обнаружить важнейшие особенности распределения $t°$ воздуха, влияние на климат данной местности океанов, морских течений, континентальных массивов, различных видов ландшафта, а также $t°$-ные условия различных частей барич. систем. Этим же методом проведения изолиний изучается географич. распределение и других геофизич. элементов (см. *Земной магнетизм*). Однако, впервые подобный способ исследования был применен для $t°$ воздуха.

ИЗОТОПЫ, химич. элементы с различными ат. весами, но расположенные в одной и той же клетке периодич. системы Менделеева (ἴσος τόπος—то же самое место). Химические и большинство физич. свойств И. почти тождественны. В современном учении о строении атомов понятие И. характеризуется тем, что массы центральных положительных ядер у них различны, в то время как заряды этих ядер, а следовательно и число внеядерных электронов (атомный, или порядковый №), одинаковы. Химические свойства атомов определяются числом и расположением внешних электронов; поэтому у И. эти свойства совпадают; наоборот, свойства, зависящие от строения атомного ядра, именно—радиоактивные свойства, глубоко различны у разных И. Тонкие детали спектров так же определяются ядерными массами и поэтому неодинаковы у разных И. Понятие об И. введено в науку Ф. Содди на основании данных, полученных при исследовании радиоактивных элементов. Корпускулярные излучения радиоактивных тел приводят к следующим правилам изменения положения соответствующих атомов в периодич. системе: 1) при излучении α-частицы, атомного ядра гелия с двумя положительными зарядами (см. *Атомная теория*), остающийся элемент уменьшается по ат. весу на 4 единицы и по валентности отступает в периодич. системе на два столбца назад; 2) при излучении β-луча (электрона) в остающемся элементе ат. в. практически не изменяется, но по валентности элемент перемещается в периодич. системе на одно место вперед. Вследствие таких прерывных изменений и становится воз-



Массовые спектры Астона. I. Простой спектр группы C_1, виден дублет кислорода и метана. II. Двойные спектры: сравнение линий Br. III. Двойной спектр: сравнение CH_3 и C при напряжениях 280 и 352 V, дублет O и CH_4 виден в самом низу. IV. Двойной спектр: сравнение F и C_2 при напряжениях 280 и 352 V, заметна также линия B^{11}. V. Простой спектр CH_3Br: видны по две линии, соответствующие Br, HBr, CH_2Br и CH_3Br; ниже—второй порядок группы Hg. VI. Двойной спектр: сравнение Br^{81} с CO_2 при напряжении 300 и 324 V. В спектре, снятом при 324 V, видна очень слабая линия трехвалентного Br при 26,3. В спектре имеются линии серы, хлора и пр., и он служит прекрасной иллюстрацией равномерного распределения линий, отличающихся на единицу по массе. VII. Двойной спектр: видны линии P и его водородных соединений между линиями P и CO. VIII. Двойной спектр: сравнение Kr^{86} с Hg^{198}. Линии криптона видны ближе к середине. IX. Спектр, показывающий весьма ясно линии второго порядка группы Hg. X. Спектры *a* и *b* показывают равномерное распределение линий монометил-олова и ксенона, *c*—показывает одиннадцать изотопов олова. XI. Шесть двойных спектров: a) $Kr^{86} : CO_2$; b) $Kr^{78} : Kr^{80}$ и $Kr^{80} : Kr^{82}$; c) $Kr^{80} : Kr^{82}$ и $Kr^{82} : Kr^{84}$; d) $Kr^{82} : Kr^{84}$; e) $Kr^{84} : Kr^{86}$; f) после добавления бромистого метилена, $Br^{79} : Br^{81}$.

ТРЕСТ „ГЕОКАРТПРОМ"

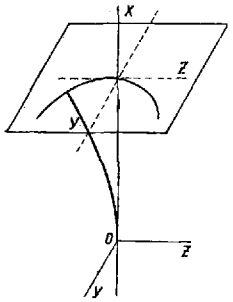
можным тот факт, что в одной и той же клетке системы элементов оказываются расположенными несколько различных атомов с разными ат. весами, но с одинаковым числом внешних электронов; эти атомы и будут И. В табл. 1 приведен пример группы радиоактивных И., имеющих общий ат. номер 84.

Табл. 1.—Радиоактивные изотопы с общим атомным номером 84.

Изотопы	Прибл. ат. в.	Период полураспада
Полоний	210	140 дней
Радий-А	218	3,0 мин.
Торий-А	216	0,14 ск.
Актиний-А	214	$2 \cdot 10^{-3}$ ск.
Радий-С′	214	10^{-6} ск.
Торий-С′	212	10^{-11} ск.
Актиний-С′	210	$5 \cdot 10^{-3}$ ск.

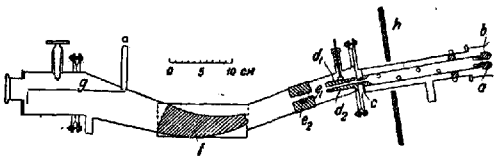
Элементы этой группы не разделимы химич. путем, но, как видно, необычайно различны по своим радиоактивным свойствам. Тщательно исследована изотопич. группа свинца (ат. номер 82); к этой группе относится по крайней мере 10 представителей с интервалом значения ат. в. от 201 до 214. Прямые измерения ат. в. свинца различного происхождения (из разных радиоактивных минералов) обнаружили вполне заметные вариации ат. в. По Ричардсу, ат. в. обыкновенного свинца равен 207,19, свинца из австралийского карнотита—206,34, из урановых руд—206,08. Содди высказал предположение, что и другие, нерадиоактивные элементы во многих случаях являются смесью различных И., чем и объясняются отклонения ат. в. от целых чисел. Это предположение вполне подтвердилось в замечательных исследованиях Астона, произведенных с т. н. масс-спектрографом.

Метод и прибор Астона для исследования И. явились развитием метода химич. анализа при помощи положительных, или каналовых, лучей (см. *Лучи корпускулярные*), предложенного и осуществленного Дж. Дж. Томсоном. Частица, летящая в пучке каналовых лучей, является положительным ионом с определенным зарядом e, массой m и скоростью v. Подвергая эту частицу одновременному действию параллельно направленных магнитного и электрического полей, можно заставить каналовый луч отклониться, при чем величина отклонения будет зависеть от отношения $\frac{e}{m}$ и скорости v. Лучи с одним и тем же значением $\frac{e}{m}$, но различными v, развернутся в поверхность (фиг. 1), оставляющую при пересечении с какой-нибудь плоскостью YZ (напр. фотографич. пластинкой или фосфоресцирующим экраном), перпендикулярной к первоначальному направлению луча OX, параболическ. след. Изменение направления поля OY на противоположное вызовет поворот параболы. Разные точки параболы соответствуют разным скоростям. Для других значений $\frac{e}{m}$ парабола будет иная, но с той же вершиной. Т. о., частицы с разными массами и одинаковыми зарядами дадут разные параболы, положение и форма которых и дают средство определения m.



Фиг. 1.

Еще в 1912 г., до работ Содди, Томсон обнаружил указанным методом для каналовых лучей неона две параболы, соответствующие ат. в. 20 и 22, что заставило предположить существование нового элемента с ат. в. 22. Для изучения этого обстоятельства Астон построил массовый спектрограф, в к-ром метод Томсона был усовершенствован в различных направлениях. Соответственно располагая магнитные и электрич. поля, Астон достиг своего рода «ахроматизации» пучка каналовых лучей, заставив их при одном и том же $\frac{e}{m}$ сходиться в одной «точке» независимо от различных скоростей v. Комбинация магнитного и электрич. полей в приборе



Фиг. 2.

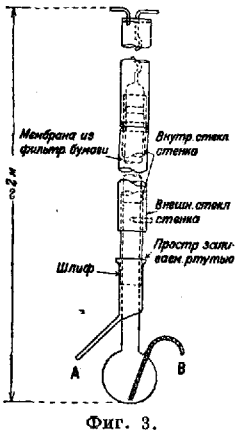
Астона действует подобно ахроматич. призме, отклоняющей световой луч, но не разлагающей его на цвета; угол отклонения определяется только отношением $\frac{e}{m}$. На фиг. 2 дана схема последней модели прибора. Разряд происходит в цилиндрическ. или шаровом сосуде, не изображенном на схеме. Через щель, или канал, a в катоде b каналовые лучи попадают во вторую щель c (обе щели шириной ок. 0,02 *мм*). В несколько искривленном пространстве между пластинами d_1, d_2 лучи подвергаются действию электростатич. поля, проходя диафрагму e_1, e_2, и затем попадают в область сильного магнитного поля f, образуемого мощным электромагнитом с полюсами, имеющими сечение, изображенное заштрихованной площадью. Лучи фокусируются на фотографич. пластинке g. Железные экраны h служат для защиты от магнитного поля. На вкладном листе воспроизведены массовые спектры Астона, полученные с новой моделью спектрографа. Каждой линии соответствуют каналовые частицы определенной массы, значения которой написаны сбоку (при чем масса атома кислорода считается равной 16). В спектре I виден дублет, соответствующий кислороду и метану (16), в спектре X, c видны линии 11 И. олова и т. д. Разрешающая способность нового прибора такова, что массы, различающиеся примерно на $^1/_{600}$, дают отдельные, не сливающиеся линии, а точность определения положения линий составляет около 0,1‰. При помощи массового спектрографа прежней и новой конструкции Астон обнаружил большое число И. для разных элементов (см. вкладной лист). В табл. 2 приве-

дены в виде примера новые данные Астона (1927 г.) для четырех элементов.

Табл. 2.—Данные Астона для серы, олова, ксенона и ртути.

Элемент	Ат. число	Ат. вес	Миним. число изотопов	Массовые числа изотопов в порядке их интенсивности
S . . .	16	32,06	3	32, 33, 34
Sn . .	50	118,70	11	120, 118, 116, 124, 119, 117, 122, 121, 112, 114, 115
Xe . .	54	130,2	9	129, 132, 131, 134, 136, 128, 130, 126, 124
Hg . .	80	200,6	6	202, 200, 199, 198, 201, 204

Наличие И. у многих элементов, к-рые являются, т. о., смесью атомов с разными массами, объясняет отклонения средних ат. весов от целых чисел. Есть, однако, и другой источник этих отклонений, менее значительный, но принципиально не менее важный. Если ат. в. О принять равным 16, то ат. в. H окажется равным 1,00778, ат. в. He—4,002; у H нет И., и следовало бы ожидать, что вес He д. б. равен учетверенному H, т. е. 4,03. Разница 4,03—4,00 соответствует, по Ланжевену, убыли массы при образовании ядра гелия из 4 протонов, т. е. из 4 водородных ядер. Эта убыль, как предполагается, эквивалентна радиации, сопровождающей процесс образования He; она определяет огромную устойчивость ядер He, вылетающих при радиоактивном распаде в виде α-частиц. Новые измерения Астона позволили установить, что ат. веса изотопов большинства элементов, даже в том случае, когда эти отдельные И., составляющие какой-нибудь один элемент, отделены друг от друга, также не выражаются целыми числами. В табл. 3 приведена величина $\frac{d}{m}$, убыль массы на каждый протон, входящий в состав ядра данного атома, где d—отклонение действительного ат. в. от массового числа m (числа протонов, входящих в состав атома). В этой табл. (в отличие от установленного в последнее время в химии правила) ат. в. H, конечно, принимается равным точно 1,000, поэтому $\frac{d}{m}$ для него равно точно нулю. Числа, стоящие в скобках около обозначений атомов, указывают атомное массовое число m. Из табл. видно, что $\frac{d}{m}$ имеет максимум в области изотопов криптона и затем начинает убывать. Возможно, что это уменьшение $\frac{d}{m}$ — первый признак повышающейся неустойчивости ядер тяжелых элементов,



Фиг. 3.

Табл. 3.—Значения величины $\frac{d}{m}$.

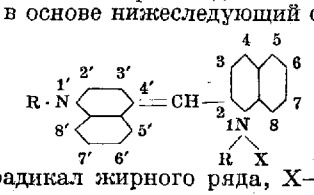
Атом	H	He	Li(6)	Li(7)	B(10)
$\frac{d}{m}10^4$	0	72	58	61	64
Атом	B(11)	C	N	O	F
$\frac{d}{m}10^4$	69	75	72	78	78
Атом	Ne(20)	Ne(22)	P	Cl(35)	A(36)
$\frac{d}{m}10^4$	78	75	83	82	84
Атом	Cl(37)	A(40)	As	Kr(78)	Kr(79)
$\frac{d}{m}10^4$	83	85	86	87	87
Атом	Kr(80)	Kr(81)	Kr(82)	Kr(83)	Kr(84)
$\frac{d}{m}10^4$	87	86	87	87	86
Атом	Kr(86)	J	Sn(120)	Xe(134)	Hg(200)
$\frac{d}{m}10^4$	86	83	85	83	79

которая резко проявляется в радиоактивных явлениях.

Массовый спектрограф Астона, разделяя И., не дает, однако, возможности изолировать их в количествах, достаточных для изучения их физическ. свойств. Принципиально возможно, пользуясь различием атомных масс у И., разделить их в газообразном состоянии путем фракционированной диффузии и фракционированного испарения или путем комбинации обоих указанных методов. На фиг. 3 изображен аппарат Гаркинса для разделения И. ртути комбинированным испарением и диффузией. Испаряющаяся ртуть диффундирует через мембрану из фильтровальной бумаги. При многократном повторении этого процесса Гаркинсу и Мортимеру удалось получить фракции ртути, ат. веса которых отличались на 0,02 единицы.

Лит.: Астон Ф. В., Изотопы, пер. с англ., М.—П., 1923; M-me Pierre Curie, L'isotopie et les éléments isotopes, P., 1924; Aston F. W., A New Mass-Spectrograph and the Whole Number Rule, «Proc. of the Royal Society of London», L., 1927, series A, v. 115, p. 487; Harkins W. a. Mortimer B., The Separation of Isotopes a. a Further Separation of Mercury by Evaporative-Diffusion, «Philos. Magazine a. Journ. of Science», L., 1928, v. 6, p. 601, 1928; Discussion on the Structure of Atomic Nuclei, «Proc. of the Royal Society of London», L., 1929, series A, v. 123, p. 373. **С. Вавилов.**

ИЗОЦИАНИНЫ, красящие вещества, обладающие весьма незначительной прочностью к свету, но незаменимые по своей сенсибилизирующей способности. По своему строению И. являются производными хинолина и имеют в основе нижеследующий скелет:

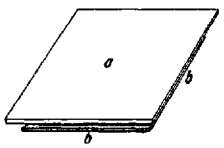


где R—радикал жирного ряда, X—остаток

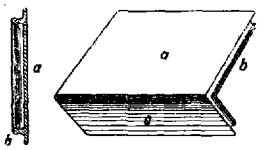
кислоты. И. получаются при действии щелочей на производные хинолиналкилиодидов аналогично изомерным с ними цианинам [1,2]. Строение И. установлено работами Милса и др. [3]. Как сенсибилизаторы И. нашли применение в фотографическ. деле, где были испробованы впервые А. Мите [4]. Наиболее простой И.—этиловый красный, открытый в 1883 г. Шпалтенгольцем [5], представляет собой 1,1′-диэтил-И. Наибольшее применение имеет 1,1′, 6-триметил-И., выпускаемый в продажу под названием пинавердоль. Изоцианины—весьма дорогие красящие вещества, и в настоящее время 1 *г* пинавердоля стоит 25—30 р.

Лит.: [1]) Hewitt J. T., Synthetic Colouring Matters: Dyestuffs, derived from Pyridine, Quinoline, Acridine, a. Xanthene, L., 1922; [2]) Fierz-David H. E., Künstliche organ. Farbstoffe, B., 1926; [3])«Soc.», 1920, v. 117, p. 579, 1935; [4]) «B», 1904, B. 37, p. 2012; [5]) ibid., B. 16, p. 1847. **И. Иоффе.**

ИЗРАЗЦЫ, облицовочный материал для комнатных печей; И. состоят из пластины *a* и румпа *b* (фиг. 1). Поверхность пластины, противоположная румпу (т. е. при заделке наружная сторона), почти всегда покрывается глазурью и делается или совершенно



Фиг. 1.



Фиг. 2.

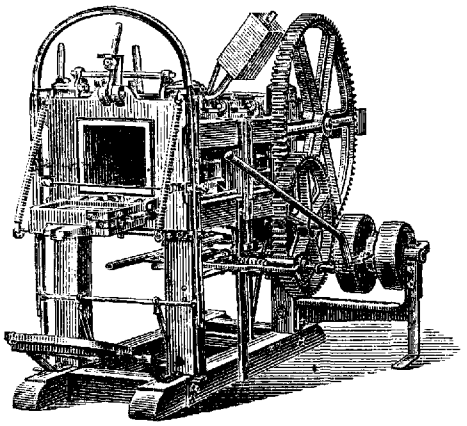
гладкой или же с рельефными украшениями. Румп, находящийся на задней стороне И., представляет собой четырехугольное кольцо с округленными углами и служит для примазывания И. к кладке печи, при чем внутренность румпа заполняется кирпичным щебнем с раствором. Кроме обыкновенного И., изображенного на фиг. 1, вырабатывают еще угловые И. (фиг. 2), а также карнизные. И. должны прежде всего выдерживать без повреждений и вообще существенных изменений быстрое нагревание печи. Для изготовления И. могут служить любые пластичные, дающие не слишком сильную усадку при обжиге, глины. Натуральный цвет глин для приготовления И. роли не играет, т. к. обыкновенно наружная поверхность И. покрывается белою или окрашенною, но не просвечивающею, глазурью или же *ангобом* (см.), покрытым в свою очередь прозрачною свинцовою глазурью. В отношении состава изразцовых глин следует отметить существенное влияние на качество приготовляемых изразцов содержания в них углекислой извести. Опыт показал, что для изразцовых масс допускается в среднем содержание 25—30% углекислой извести. Обыкновенно в качестве сырья для И. пользуются природными мергелями, и для получения изразцовых масс надлежащих качеств смешивают между собою различные глины и мергели. В случае недостатка углекислой извести в глине последняя м. б. обогащена углекислой известью добавкой к ней природного известняка или мела. Крупнозернистые песчаные примеси в глинах вредны для изготовления И., и поэтому д. б. удалены путем отмучивания. Однако, к отмучиванию изразцовых глин прибегают лишь в самых крайних случаях, т. к. эта операция существенно удорожает производство И. Более применим технически и более выгоден прием пропуска глины с крупнозернистыми примесями через бегуны или вальцы, где эти примеси измельчаются и одновременно тесно смешиваются с глиной. Примерный состав изразцовой глины следующий: 47,86% SiO_2; 11,90% Al_2O_3; 5,18% Fe_2O_3; 25,40% $CaCO_3$; 1,71% MgO; 3,66% щелочи; 4,64% воды.

Подготовка массы заключается в отмучивании глины, если этого требует состав последней, и в перемешивании глины с добавляемыми к ней другими глинами, мелом или песком. Последний приходится прибавлять в тех случаях, когда глина жирна и ее не удается сделать достаточно формующейся добавкой других тощих глин. Тщательное перемешивание массы необходимо для получения доброкачественных И., особенно когда в состав массы входит несколько различных по свойствам материалов. При отмучивании глины удается значительно лучше перемешать массу, но зато в дальнейшем процесс усложняется работой по удалению избытка воды. Для удешевления процесса обезвоживания жидкой глиняной массы после отмучивания ее собирают в отстойные бассейны и дают глине отстояться. Воду сверху сливают, а оставшуюся густую массу высушивают до нормальной консистенции формующегося теста. Полученное тесто пропускают обыкновенно через вертикальную *глиномятку* (см.) несколько раз, после чего масса готова для формовки.

Формовка И. может быть ручная и машинная с помощью прессов. При ручном способе формовку И. можно вести двояко: 1) пластину и румп готовят отдельно, затем подсушивают (до состояния кожи) и тогда соединяют вместе с помощью жидкой массы; 2) и пластину и румп формуют и тотчас же соединяют вместе. В последнем случае обычно после высушивания перед обжигом И. подвергают шлифовке. Формовка пластины производится на гончарном круге, употребляемом в гончарном производстве, при чем для получения правильных размеров пластины пользуются металлическими или железными формами.

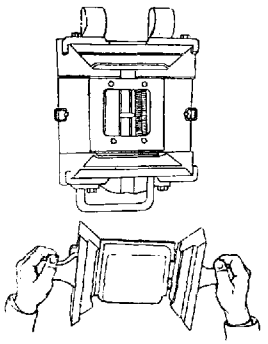
Для механич. формовки И. употребляют специальные (обыкновенно ящичные) прессы с ручным и механическ. приводом. Глину, помещенную в такой пресс, с помощью поршня выдавливают через соответствующий мундштук и втискивают в прижатую к мундштуку форму. Затем проволокой сформованный И. отделяют от всей массы глины и вынимают из формы. На фиг. 3 изображен изразцовый пресс Дрешера. Одной зарядки такого пресса может хватить на 30 штук И., прессуемых одновременно с румпом как одно целое. Первоначально формы готовились из гипса и для прочности связывались железными полосами. Они не требовали смазки маслом и давали И. с равномерной поверхностью. В последнее время формы начали делать металлические, гл. образом бронзовые. Перед наполнением глиной металлич. формы смазывают маслом, чтобы сформиро-

ванные сырые И. можно было легко вынимать из форм. Производительность такого пресса при двух рабочих—120—180 прямых кафелей и 80—95 углов в 1 час. В прессе

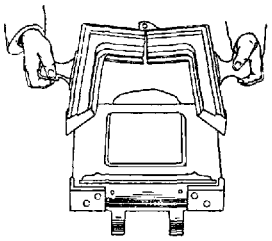


Фиг. 3.

фирмы Дехерт и с-ья имеется приспособление для выемки сформованных изразцов, для чего форма делается составной и укрепляется на общей плите; плита, как и в предыдущем случае, делается откидной и при формовке прижимается к мундштуку пресса помощью перекидного рычага. На фиг. 4 показаны отдельные части составной формы для этого пресса. При этом устройстве часть формы с сердечником для румпа позволяет после формовки снимать готовое сырье и выкладывать его пластиной книзу. Если же требуется после расформовывания выложить готовый И. на румп, то пользуются особым грейфером, изображенным на фиг. 5, к-рым отформованный И. подхватывается за румп, вынимается из формы и ставится пластиной кверху. Для формовки углов на прессе намонтировывается специальный мундштук, к которому во время формовки нажимается соответствующих очертаний форма. На фиг. 6 показан пресс для формования углов.

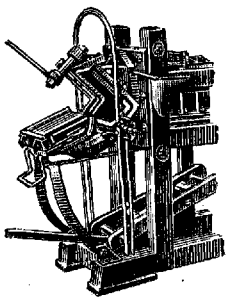


Фиг. 4.



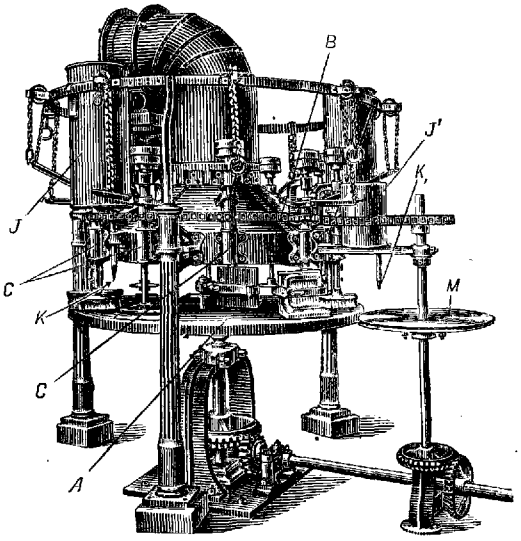
Фиг. 5.

После формовки И. сушат; так как при процессе сушки И., особенно с гладкими (без рельефов) поверхностями, коробятся и искажают свою первоначальную форму, то они в состоянии еще не вполне сухом подвергаются обработке, имеющей целью исправление дефектов сушки и сообщение им правильной и ровной поверхности, толщины и углов. Для этого подсушенные И. прихлопывают поверхностями о твердые полированные плиты из чугуна, гранита или мрамора, затем заглаживают деревянными правилками и, наконец, строгают и полируют специальными полировочными ножами и скалками. Углы, кроме того, проверяют по шаблонам и соответственно исправляют. Всю эту дополнительную обработку И. нужно производить при таком состоянии сухости, когда изделия хотя и сохраняют еще известную мягкость в обработке, но уже не имеют при дальнейшем высушивании склонности к усадке. После этих операций делается подправка поверхностных недостатков с помощью тестообразной массы, смешанной с шамотом, и, наконец, поверхность изразца заглаживается мокрой губкой или кожей; после этого изразец высушивают и иногда протирают наждачной бумагой.



Фиг. 6.

Обработанные т. о. изделия подвергаются первому обжигу (утильному) в тех же самых



Фиг. 7.

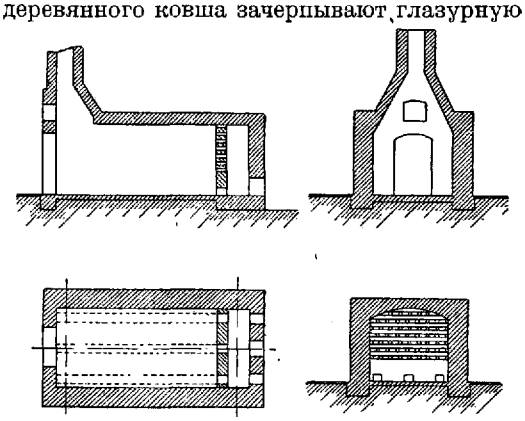
печах, в к-рых производят и окончательный обжиг глазурованных И. Так как при этом обжиге трудно избежать нек-рого искривления поверхностей изделия, особенно гладких, то после обжига необходимо И. подвергнуть шлифованию, чтобы иметь совершенно ровные поверхности и чтобы растекание глазури по поверхности было вполне равномерным. Эта операция при ручном способе сопряжена с трудностями, к-рые при шлифовании сырых изразцов не имеют места, и, кроме того, неизбежное выделение пыли при этой операции отражается на здоровьи рабочих, занятых этой обработкой. Эти затруднения устраняются применением специальных шлифовальных машин, в которых движется шлифующая плита, а И. или

остается совершенно неподвижным или же имеет только вращательное движение. На фиг. 7 представлен тип шлифовальной машины для обожженных изразцов, состоящей из медленно вращающейся железной плиты A, над к-рой на колоннах помещается особое кольцо B с примонтированными гнездами для ползунов C, которые в свою очередь опираются на обоймы, охватывающие шлифуемые И. С помощью цепи (или зубчатого колеса) валы ползунов приводятся во вращательное движение, которое м. б. приостановлено для каждого вала в отдельности особыми рычагами. При сухом шлифовании верх машины устраивается конусообразным и трубой сообщается с эксгаустером для отсасывания пыли. Для хранения песка, необходимого при шлифовании, машина снабжена 3—4 цилиндрич. сосудами J, из к-рых песок стекает на шлифовальную плиту по трубам K. При мокром шлифовании устройства для отсасывания пыли не требуется, и на его место на машине намонтировывается сосуд с водой. Рядом с большой шлифовальной плитой устраивается еще малая M для шлифования вручную места сгиба углов. Для этой плиты имеется сосуд с песком J' и к нему спускная трубка K_1. Производительность машины при 10 ползунах колеблется от 800 до 2 000 штук в день в зависимости от твердости шлифуемых поверхностей и шлифовального песка.

Глазурование. И. перед вторым обжигом покрываются глухой белой или окрашенной *глазурью* (см.)—свинцовой глазурью, в к-рую для заглушения вводится окись олова или криолит. Примерный состав глазури для И., выраженный в зегеровской формуле, следующий: 0,1 Na_2O; 0,2 CaO; 0,7 PbO; 2,8 SiO_2; 0,2 B_2O_3; 0,5 SnO_2. Получается эта глазурь предварительным сплавлением следующих материалов:

Свинцово-оловянной золы (полученной из 29 ч. олова и 71 ч. свинца)	232 ч.
Буры кристаллической	40 »
Известняка или мела	20 »
Кварцевого песка	168 »
Поваренной соли	20 »
Итого	480 ч.

В отношении состава изразцовых глазурей можно придерживаться следующих общих правил. Глазури для масс с большим содержанием извести должны иметь такое количество кремнекислоты, чтобы при плавлении они не могли извлекать кремнезема из самой массы. Если нужно с помощью щелочей сделать глазурь более легкоплавкой, то заменяют 0,1—0,2 эквивалентов окиси свинца щелочами, не изменяя количества кремнезема в глазури. При понижении $t°_{пл.}$ глазури с помощью борной к-ты нужно вводить борного ангидрида 0,2—0,3 эквивалента на 1 эквивалент окиси свинца; при этом должно сохраняться отношение окиси олова к щелочам $0{,}5\ SnO_2 : 1\ RO$. В глазурях для масс с малым содержанием извести при незначительном содержании кремнезема заменяют часть окиси свинца щелочами и известковым боросиликатом. Если употребляются для глазури только щелочи, то содержание окиси олова должно быть выше указанного отношения. Если глазурь обнаруживает склонность к отскакиванию или растрескиванию, то целесообразнее изменять соответственным образом состав массы, а не глазури. В случае необходимости сохранить неизменным состав массы и подгонять к ней глазурь нужно для сильно известковых масс подбирать легкоплавкие глазури со сравнительно небольшим содержанием окиси олова, добавляя в известных случаях в глазурную смесь каолин. При массах с небольшим содержанием извести следует поступать обратно, т. е. употреблять тугоплавкие глазури с большим содержанием окиси олова и совершенно не вводить в глазури каолин. Глазурование И. производится поливанием, для чего глазурный материал д. б. тщательно измолот и разболтан в воде до консистенции густых сливок. Поливание выполняют вручную. Подготовленный вышеизложенным способом И. держат левой рукой в вертикальном положении, в то же время правой рукой с помощью деревянного ковша зачерпывают глазурную



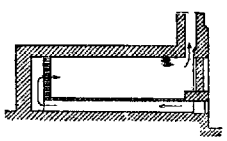
Фиг. 8.

массу и равномерно разливают по поверхности И.; при этом избыток глазури стекает в бак, где помещается глазурь. После подсушивания глазурного слоя зачищают ножом края и счищают щеткой избыток глазури.

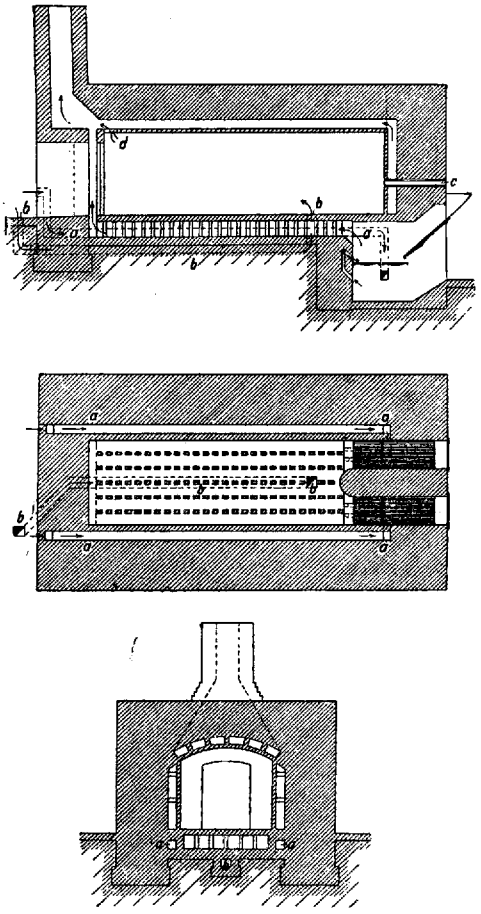
После глазурования И. подвергаются второму обжигу, во время к-рого нанесенный глазурный слой сплавляется и равномерно растекается по поверхности изделия. Т. к. свинцово-оловянные глазури легко восстанавливаются, при чем глазурь в этом случае темнеет и содержит черные вкрапления, то следует при обжиге избегать сильно коптящего пламени, особенно в тот момент, когда глазурь только начинает сплавляться. Регулирование состава печной атмосферы легко достигается при употреблении в качестве топлива дров; кроме того, необходимо озаботиться также и защитой обжигаемых изделий от непосредственного воздействия пламени. Печные установки для обжига И. следует выбирать такие, чтобы в них м. б. легко получать окислительное пламя. Чаще всего для этой цели употребляются лежачие печи кассельского типа. В большинстве случаев такие печи представляют в плане прямоугольник, при чем короткая сторона снабжена топками, а противоположная ей—отводом для дымовых газов.

На фиг. 8 представлен тип кассельской печи, имеющей следующие размеры: длина

(включая топочную камеру) 5 *м* (длина рабочего пространства 4,25 *м*), ширина 2 *м*, высота в середине 1,70—1,80 *м*. Передняя стенка печи снабжена тремя печными отверстиями, из к-рых среднее делается обыкновенно больше крайних. Печное пространство от топочного отделяется ширмой в кирпич (25 *см*) толщиной, отстоящей от передней стенки на 50 — 60 *см*. Ширма эта сверху, более чем до половины, снабжена отверстиями для прохода пламени, внизу же на самом поду сделаны три широких отверстия, от к-рых по длине печи вплоть до задней стенки при установке обжигаемых изделий оставляются каналы для нижнего прогрева печного пространства. Задняя стенка печи снабжена входом для посадки изделий в печь,



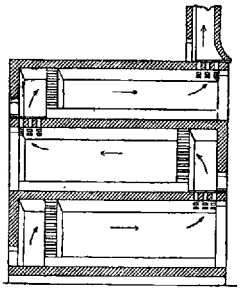
Фиг. 9.



Фиг. 10.

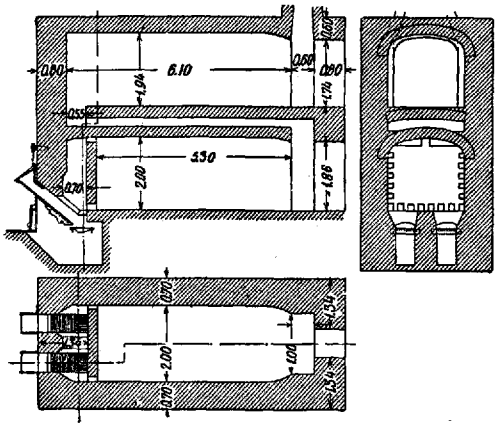
который во время обжига закладывается кирпичом и плотно замазывается. Отверстие над входом в печь служит для посадки изделий (сравнительно малоценных) в пространство под трубой. Как на вариант такой печи можно указать на печь с обратным движением пламени (фиг. 9). В этой печи, имеющей такую же форму, как и описанная выше, топочные отверстия, вход в печь и дымовая труба находятся в передней части печи. Пламя из топок идет низом по каналам под подом, поднимается около задней стенки, проходит через решетчатую ширму и движется по печному пространству в обратном направлении. Преимущество этой печи то, что получается чистое, беззольное пламя и легко достигается окислительная атмосфера, но зато, благодаря очень длинному пути пламени, изделия, находящиеся в печи у выхода печных газов в трубу, слабо обжигаются.

Чтобы вполне защитить изделия от непосредственного соприкосновения с пламенем, применяют при обжиге И. муфельные печи. Примером таких печей является печь Ришера, изображенная на фиг. 10. Внутри она представляет собой закрытый со всех сторон муфель. Топочные газы проходят внизу под подом муфеля по направлению к противоположной муфельной стенке; здесь они, поднимаясь, изменяют свое направление и возвращаются по боковым каналам с тем, чтобы затем направиться по верхним, лежащим над сводом, каналам в трубу. Каналы *a* подводят под колосники подогретый воздух. Канал *b* служит для подведения подогретого воздуха внутрь муфеля, чтобы с помощью его можно было удалять испаряемую изделиями влагу через отверстие *d*. В первый период обжига оставляется открытым также и смотровое отверстие *c* для входа в муфель внешнего воздуха. Когда *t*° в печи доходит до темнокрасного каления, воздушный канал *b* закрывают, т. к. к этому времени вся влага уже удалена. В отношении размеров печи рекомендуется строить ее емкостью в 11—12 *м*³. В виду весьма длинного пути, который должны проходить газы, необходимо для обжига выбирать лишь длиннопламенные сорта топлива. Муфельные печи, при всех своих положительных качествах, обладают тем недостатком, что потребляют сравнительно много топлива. Для сбережения топлива при обжиге строят многоярусные печи, в которых обжигаемые изделия постепенно нагреваются горячими газами, идущими от одного яруса вверх к последующим, где с помощью особых топок окончательно дожигаются. На фиг. 11 изображена трехъярусная печь Фейльнера, которая состоит из трех поставленных друг на друга кассельских печей. Пламенные газы из нижней печи поступают во вторую печь через отверстия, сделанные в своде, и таким же образом из второй печи поступают в третью, откуда уходят в трубу. Когда обжиг в нижней печи закончен, сообщающиеся со второй печью отверстия закрывают, и продолжается обжиг изделий, уже достаточно подогретых во второй печи, и т. д. На фиг. 12 изображена двухэтажная печь Крафта с угольной экономической топкой и с камерой му-



Фиг. 11.

фельного типа. Муфель (на фиг. не показан) строится из отдельных плит таким образом, что его под выстилается из плит на поставленных на ребро кирпичах (см. разрез), боковые стенки также строятся из плит и



Фиг. 12.

упираются на выпущенные из стенок печи кирпичи. Свод муфеля выводится каждый раз после окончания посадки изделий или из шамотных плит или же из необожженных И. Топочные газы проходят внизу, омывая со всех сторон муфель, поднимаются у задней стенки печи вверх, проходят в обратном направлении через междуэтажную полость и попадают во второй этаж, откуда уже выводятся через свод в трубу.

При посадке И. в печь устраивают сначала по длине печи шуровые каналы высотой около 25 *см* и шириной 15—20 *см*. Затем тотчас же за ширмой устанавливают вертикальный ряд бракованных И., лучше всего углов. Этот ряд сохраняется в продолжение нескольких обжигов и служит для задерживания золы и предохранения остальных изделий от действия остроконечного пламени, идущего непосредственно из топок. Далее следуют четыре ряда сырых (неглазурованных) И. и углов, затем ставят белый политой товар, и, наконец, последняя четверть печного пространства устанавливается изделиями с легкоплавкой глазурью или же сырым товаром. Под самой трубой снова укладывают, по возможности свободно, с большими промежутками, бракованные изделия. И. ставят на ребро попеременно обращенными друг к другу глазурованными поверхностями и румпами, по возможности близко друг к другу—с промежутками в 1—2 *см*. Для большей устойчивости изделия укрепляют глиняными подставками. Отдельные горизонтальные ряды разделяют особыми плитами. Обжиг ведется сначала медленно, при осторожном повышении $t°$. При начале плавления глазури, как было указано, следует избегать коптящего пламени, чтобы не было восстановительных процессов. По окончании обжига печь оставляют медленно остыть. За обжигом следят через смотровое окно с помощью зегеровских пирометров и пробных черепков. Окончание обжига происходит обыкновенно при SK 010. Остуженный товар вынимают из печи и сейчас же сортируют.

Торговые сорта изразцов на русском рынке имеют полуторные размеры 22×40 *см* или 22×44 *см* и ординарные—22×18 *см* и 27×18 *см*. Немецкие (берлинские) кафели имеют размер 22×25 *см*. Производство И. в СССР распространено в различных районах, из которых наиболее известными являются: ленинградский, тверской, ржевский, копысевский, клинский, гжельский. В Москве производство весьма высоких по качеству И. развито на з-де б. Власова. На Нижегородском з-де б. Костина в настоящее время восстанавливается бывшее на этом з-де еще до войны 1914—18 гг. производство И. Довоенное производство печных И. для 1912 г. выражалось в 1 511 400 п. при чем это производство не удовлетворяло всей потребности в этого рода изделиях, и часть И., приблизительно ок. 300 000 п., в том же году была ввезена, гл. образом из Германии и Финляндии. Стоимость И. на московском рынке, согласно данным Московской товарной биржи, на 1927 г. колеблется в пределах 1,5—40 к. за штуку франко Москва-склад, в зависимости от сорта И.

Лит.: Будников П. П., Керамич. технология, Харьков, 1927; Философов П. С., Изразцы, Энцикл. словарь Брокгауза и Эфрона, т. 19, П., 1916; Kerl B., Handbuch d. ges. Tonwarenindustrie, 3 Aufl., Brschw., 1907. **П. Философов.**

ИЗУМРУД, разновидность минерала *берилла* (см.), драгоценный камень 1-го порядка. Красивый цвет И. обусловливается присутствием в составе его хрома и ванадия: преобладание первого дает золотисто-зеленый, второго—синевато-зеленый тон; окраска неравномерная, иногда зонарная. Чистые кристаллы без изъянов (муть, трещины, включения) очень редки. Величина кристаллов достигает 20 *см* длины и 15—20 *см* толщины. Нормально из 5 *к* ограночного материала получается 1 *к* ограненного камня. Месторождения И. немногочисленны; они связаны с внедрением пегматитов в амфиболиты, змеевики или им отвечающие силикатные породы, богатые Fe, Ca, Mg, или с прониканием апофиз пегматитов в битуминозные мергеля. В СССР известно месторождение «Изумрудные копи», славящееся крупными кристаллами И. золотисто-зеленого (Cr_2O_3 от 0,11 до 0,19%) и редко сине-зеленого цвета. Месторождение разрабатывается трестом «Русские самоцветы»; имеется шесть приисков на протяжении ок. 20 *км*; ширина зоны изумрудных пород 100—600 *м*. На предприятии имеется обогатительная ф-ка, обрабатывающая изумрудный сланец. Запасы ограночного материала значительные: до глубины 50 *м*—не менее 10 млн. *к*.

Из других месторождений известны копи Muzo и Coscuez в Колумбии; камни сине-зеленого тона. Месторождение очень значительное; длина его—8 *км*. Добывается среднего товара в год на сумму до 1 млн. руб. Небольшое значение имеют месторождения: в Бразилии (светлые искристые камни), Habachtal (около Зальцбурга) в Альпах, Poona в З. Австралии и Kjerringöe и Eidsvold в Норвегии. Общая мировая добыча равняется 1 100 000 р. В последнее время И. ценятся в 2—10 раз выше довоенного времени: стоимость 1 *к* исключительного качества—12 000 р.; 1-го сорта—2 000 р., обычного

рыночного товара—от 250 до 2 р. (среднее 40—50 р.).

Центры обработки: Париж, в СССР—Свердловск, где в день опытный мастер гранит 5—6 *к*; огранка ступенчатая и мелкая квадратная искра.

Из историч. камней можно отметить: 1) негранёные кристаллы—а) Николая I, 25 *см* дл. и 12 *см* шир.; б) Венского кабинета, 205 *к*; в) герц. Девонширского (Англия), 1 350 *к*; 2) граненые камни — И. Алмазного фонда, замечательного тона и чистоты—250 *к*, 153,75 *к* и 136,25 *к*. Для безошибочного определения качества камней изобретены лампы и лупы с выдвижными цветными фильтрами (фирмы Reichert в Вене и Emerald-Jami—P. E. Walton в Париже). Для улучшения игры, для временного скрытия трещин настоящий И. проваривают в деревянном масле. Подделки И. следующие: 1) смарагдолин—искусная имитация из стекла (несколько разностей) вплоть до подделки естественных изъянов настоящего И.; 2) дублеты, сплавленные или склеенные из двух частей, из к-рых верхняя—настоящий изумруд плохого качества или аквамарин, нижняя—кварц (редко тоже изумруд) или стекло; между ними имеется окрашенный слой, иногда яркая жидкость.

Лит.: Ферсман А. Е., «НИ», т. 1, 1926; его же, Драгоценные камни, т. 2, Л., 1925; Kraus E. a. Holden E., Gems a. Gem Materials, N. Y., 1925; Michel H., Die künstlichen Edelsteine, Lpz., 1926.

Е. Цинзерлинг.

ИЗЮМ, сушеные ягоды винограда. Сушка ведется почти всегда на солнце. В СССР производство И. сосредоточено в Туркменистане и Узбекистане. До войны 1914—18 гг. из Туркестана вывозилось до 30 000 *т* И. в год, к-рые по районам распределялись так:

Районы	Вывоз в *т*
Самаркандский	15 750
Полторацкий	7 600
Бухарский	3 033
Ура-Тюбинский	2 300
Ходжентский	916

В последние годы вывоз И. из Узбекистана в среднем составляет ок. 14 000 *т*. Кроме того, до войны много И. привозилось из-за границы—в год ок. 29 000 *т*, при чем 95% ввоза приходилось на Персию. В настоящее время ввоз И. сократился: в 1922/23 г. ввезено 10 330 *т* И. из Персии. Более ценные и высокие сорта И. привозились из Испании (малага и др.) и из Турции (бессемянный — кишмиш, с семенами — розаки, из муската—элеми). В большом количестве в Россию ввозилась коринка (коринфский И.) из Греции.

В Узбекистане применяются три способа сушки винограда: 1) непосредственная сушка на солнце—автоби; 2) сушка в тени, в особых сушильных сараях с узкими отверстиями в стенах для пропуска воздуха,—сояги (т. о. сушится виноград сортов кара-маизи, белый кишмиш, вассарга); 3) сушка на солнце винограда после погружения его (обварки) в кипящий раствор поташа (или смеси поташа и извести)—абджет. Наиболее распространена непосредственная сушка на солнце. Обварка в известково-щелочном растворе применяется гл. обр. при получении сортов гермиан, сабза; обариванием в щелоке достигается образование мельчайших трещин на кожице винограда, что ускоряет сушку. Сорта туркестанского И. и химический состав И. см. табл. 1 и 2.

Табл. 1.—Сорта туркестанского изюма.

Сорта И.	Сорта винограда для получения И.	Цвет	Содержание семян
Гермиан	Маска	Бурый	С семенами
Шигани	Кара-кишмиш	Фиолетово-черный	Без семян
Сабза	Ак-кишмиш	Желтый	» »
Бидана	Ак-кишмиш	Розовато-бурый	» »
Чиляги	Чиляги	Бурый	С семенами
Вассарга	Вассарга	Фиолетово-черный	» »
Хусайки	Хусайне	Светлокоричневый	» »
Таифи	Таифи	Светлокоричневый	» »

Табл. 2.—Химический состав изюма (по Ф. Церевитинову).

Сорта	Вес 100 ягод, *г*	Вода, %	Инвертный сахар, %	Азотистые вещества, %	Общих к-т (винных к-т), %	Целлюлоза, %	Зола, %
Шигани	38	25,2	61,5	1,57	1,16	1,02	1,96
Бидана	40	24,8	65,8	1,58	1,19	0,96	1,56
Туркмени	75	24,3	60,1	2,01	1,08	4,92	2,04
Таифи	74	22,4	63,7	1,71	0,74	2,01	2,67
Вассарга	90	24,9	60,7	2,14	1,78	5,64	2,37
Хусайки	118	22,4	63,2	1,98	0,54	3,44	1,90
Гермиан	106	22,5	66,0	1,92	1,26	3,73	1,67
Сабза персидская	39	22,3	68,1	1,59	1,35	0,95	2,29

Коринка, доставляемая Грецией, представляет собою мелкий черный бессемянный И., получаемый сушкой ягод особого вида виноградной лозы (Vitis corinthica или V. apyrena), разводимой по южн. берегу Коринфского залива, на Ионических о-вах, в Далмации и Сирии. Содержание сахара в коринке—66 %. Испания, а также Калифорния производят кувшинный И., или малагу, к-рая поступает в продажу в виде гроздей с гребнями. Малага содержит 62,8—67,8 % сахара.

Производство И. в С. Ш. А. Главным сортом винограда для получения бесосточкового И. является «султанина» или «виноград Томпсона без косточек». Виноград собирают, когда уд. вес сока будет не менее 24° Баллинга. После сбора грозди винограда кладут в один слой на лотки из очень плотного картона или деревянные. Для ускорения сушки прибегают к обварке винограда щелоком. Концентрация щелока—0,1÷0,75 % (лучше 0,5 %) углекислого натрия или смеси углекислого натрия с едким натром; продолжительность обварки—3÷6 ск. Лотки с виноградом расставляют

на сушильном дворе или на винограднике, а через 3—5 дней, когда виноград наполовину высох, его переворачивают; еще через 2—3 дня лотки складывают один на другой в клетки (штабеля), в которых заканчивается процесс сушки. Полученный И. очищают от примесей, сортируют по величине ягод и погружают в холодный раствор двуугле кислого натрия, на поверхности к-рого находится тонкий слой прованского масла; благодаря этому ягоды покрываются тонким слоем масла, придающим сушеному продукту лоснящийся вид и предохраняющим ягоды от слипания. Готовый И. упаковывают в ящики. В Калифорнии готовят также И. мускат, поступающий в продажу в виде гроздей. Для этого сорта применяется обварка в щелочном растворе.

Громадное значение для И. имеют очистка и сортировка его на специальных машинах. Такая обработка И. всегда применяется в Калифорнии, отчего калифорнский И. содержит ничтожное количество примесей и является совершенно однородным. Туркестанский И., даже лучшие сорта, обычно содержит 1,2—3,5 % примесей (черешки, песок, земля и пр.), почему его необходимо подвергать очистке. В настоящее время в Самарканде построен завод для очистки и сортировки И., оборудованный новейшими американскими машинами.

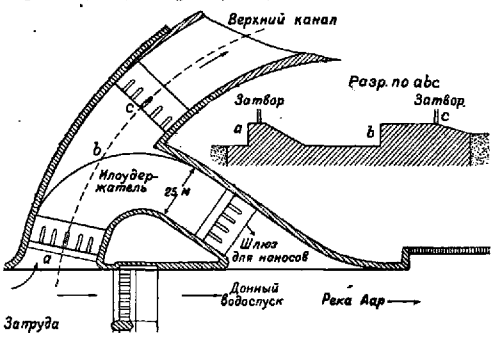
Лит.: Церевитинов Ф. и Урьев Ф., Туркестанский и персидский изюм и его исследование, «Вестник виноделия Украины», Одесса, 1927, 2; Cruess W. V., Commercial Fruit and Vegetable Products, N. Y., 1924. **Ф. Церевитинов.**

ИЛОУДЕРЖАТЕЛИ, илоуловители, пескоудержатели, наносоудержатели — вспомогательные устройства при гидротехнич. сооружениях на реках и каналах для задержания взвешенных в текучей воде наносов.

И. устраивают для уменьшения отложений в каналах и водохранилищах песка, ила и наносов, вредно влияющих на оросительные системы и др. гидротехнические сооружения. В некоторых случаях илоудержатели, особенно наносоудержатели и пескоудержатели, устраивают в целях регулирования водных потоков, когда изменяются направление реки и ее русло или же кольматируется прилегающая к руслу реки пойма. В последнем случае сооружения представляют систему наносоудерживающих, гл. образом плетневых, фашинных и древесных, *заграждений* (см.).

И., служащие для удержания наносов в каналах, в большинстве случаев встречаются двух типов: 1) И. для воды, несущей крупные наносы и грубые материалы по дну; 2) И.—осадочные бассейны с сечением, бо́льшим сечения нижележащего смежного участка канала или реки. Первый тип И. представляет собой камеру, дно к-рой находится ниже дна канала. По дну камеры устроены желобки, задерживающие наносы и грубый материал. Промывка такой илоудерживающей камеры производится через отверстие в стенке ее, а промытый материал сбрасывается в особый отводный канал или естественное русло. Второй тип И., в виде осадочного бассейна, обычно представляет расширенный участок канала с бетонированными стенками, при чем дно бассейна лежит ниже нормального дна канала. В нижнем конце осадочный бассейн снабжен промывными затворами. Длина бассейна делается не менее четырехкратной глубины воды в канале. Иногда, для уменьшения заиления каналов, И. устраивают в виде плотины с пониженным до дна реки порогом.

Типом И. при значительных наносах и высоких паводках может служить И. при плотине крупной электрич. станции Ванген на р. Ааре (см. фиг.). При таком устройстве



бо́льшая часть крупных наносов задерживается перед впускным шлюзом *a*, порог которого находится выше дна реки на 1 *м*. Промывка отложившихся перед шлюзом наносов происходит через донный водоспуск с порогом, пониженным до дна реки. Средние и мелкие наносы задерживаются перед порогом *b* и отлагаются в И. Отложившиеся в И. наносы промываются при закрытии затвора *c* и открытии спускного шлюза для наносов; при нормальной работе этот шлюз закрыт. Для предотвращения попадания в водоприводный канал наносов при наиболее высоких водах затвор *c* снабжен шлюзами.

Лит.: Акулов К. А. и Козлов Г. А., Курс водных сообщений, т. 2, М.—Л., 1928; Дангельштейн В., Сел.-хоз. гидравлика, СПБ, 1904; Зброжек Г., Курс водных внутр. сообщений, 3 изд., П., 1915; Костяков А. Н., Основы мелиораций, М., 1927; Кандиба Б. Н., Регулирование рек, Л., 1927; статьи «Илоудержатель» и «Илоуловитель» в «Технич. Энциклопедии», изд. «Просвещение»; Мауер К., Das Elektrizitätswerk Wangen an d. Aare, «Z. d. VDI», 1906, B. 50. **А. Калабугин.**

ИМИДЫ КИСЛОТ, производные органич. многоосновных к-т, в к-рых 2 гидроксильных остатка замещены имидо-группой (имино-группой) $>NH$. И. к. получаются из соответствующих к-т или их ангидридов действием аммиака или перегонкой их кислых аммонийных солей или амидов.

При образовании И. к. происходит замыкание открытой цепи углеродных атомов

$$\begin{matrix}COOH\\|\\COOH\end{matrix} \longrightarrow \begin{matrix}CO\\|\\CO\end{matrix}\!\!>\!NH.$$

И. к.—кристаллич. вещества, плавящиеся, возгоняющиеся и перегоняющиеся без разложения, б. ч. хорошо растворимые в воде и спирте; при нагревании с водными растворами едких щелочей и к-т присоединяют воду и легко разлагаются на соответствующую к-ту и аммиак. С кислотами И. к. не реагируют и дают нейтральную реакцию (на лакмус). Водород имидо-группы легко замещается металлом, при чем образуются солеобразные производные.

От И. к. надо отличать имидокислоты—производные карбоновых к-т, образую-

щиеся замещением карбонильного кислорода группой NH, например:

$$R\cdot COOH \longrightarrow R\cdot C\begin{matrix}\diagup NH\\ \diagdown OH\end{matrix}$$

Имидокислоты являются изомерами амидов соответствующих кислот: $R\cdot CO\cdot NH_2$ и известны лишь в виде производных—хлорангидридов и эфиров.

ИМПЕДАНЦ, полное (кажущееся) сопротивление цепи, отношение эффективного значения напряжения переменного тока к эффективному значению силы тока, возникающего под влиянием этого напряжения. При синусоидальном токе с частотой ω в цепи с сопротивлением R, индуктивностью L и емкостью C полное сопротивление Z определяется по ф-ле:

$$Z=\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}.$$

Если изображать напряжение и силу тока при помощи комплексных чисел, то и полное сопротивление получает комплексное выражение:

$$\bar{Z}=R+j\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)=Z\cdot e^{j\varphi},$$

где φ определяется из ур-ия:

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{L\omega-\frac{1}{C\omega}}{R}.$$

Величина, обратная И., называется полною проводимостью или *адмитанцем* (см.) и обозначается обыкновенно буквой $\bar{y}$:

$$\bar{y}=g+jb,$$

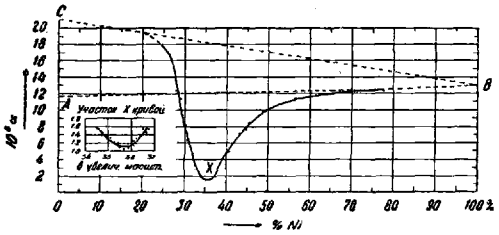
где g и b—активная и реактивная составляющие проводимости:

$$g=\frac{R}{Z^2},\ b=\frac{\frac{1}{C\omega}-L\omega}{Z^2}.$$

Я. Шпильрейн.

ИМПСОНИТ (impsonite) завершает ряд асфальтовых пиробитумов, представляя последнюю стадию метаморфозы асфальтитов и асфальтовых пиробитумов. Нередко асфальтиты столь похожи по физич. и химич. свойствам на И., что многие промышленники на этом ошибались. Цвет в массе черный, излом неровный, блеск полутусклый, черта черная, уд. в. 1,10—1,25, твердость по Моосу 3, в пламени растрескивается, не плавится, твердого углерода содержит 50—85%, в сероуглероде нерастворим, минеральных веществ содержит 0,7—2,5%, серы 1,3—1,7%, кислорода меньше 5%. Месторождения—в виде жил мощностью 2—3 *м*, при простирании до 100 *м*. Глубина точно не известна. **П. П.**

ИНВАР (от invariable—неизменяемый), сплав никеля с железом, с чрезвычайно малым коэфф-том расширения, почти в 10 раз меньшим, чем коэфф. расширения железа. И. открыт директором Международного бюро мер и весов, проф. Гильомом. При исследований никелевой стали оказалось, что ее магнитные свойства, упругость и коэфф. расширения претерпевают закономерные изменения в строгом соответствии с изменением состава. Для метрологич. целей особенный интерес представляет изменение термич. коэфф-та расширения сплава железа с никелем (α_{20}). На графике (см. фиг.) наглядно иллюстрируется указанная зависимость. Точка *A* отвечает коэфф-ту расширения *α*-железа, точка *C*—коэфф-ту расширения *γ*-железа (см. *Железо*, *Гамма-железо*), точка *B*—коэфф-ту расширения чистого никеля. При постепенном увеличении содержания в сплаве никеля коэфф. расширения этого сплава, вначале мало отклоняющийся от направления *CB*, при содержании 25% никеля начинает сильно уменьшаться и достигает минимума при содержании в стали 36% никеля. При дальнейшем увеличении



содержания никеля коэфф. расширения повышается. Упомянутый 36%-ный сплав никеля с железом Гильом и назвал И. Если принять во внимание, что сплав этот противостоит действию химич. агентов, почти не изменяется на воздухе, легко подвергается обработке и хорошо полируется, то становится понятным распространение этого сплава для изготовления различных точных, не изменяющихся изделий. Недостаток И. состоит в том, что с течением времени термич. коэфф. расширения его претерпевает изменения. При обыкновенной $t°$ линейка из И. очень медленно удлиняется; если же ее выдерживать при 100°, то процесс удлинения ускоряется и, примерно, через 100 часов доходит до максимума. При охлаждении до нормальной $t°$ изменение длины вновь начинает обнаруживаться, и это явление наблюдается в течение многих лет. По мере увеличения содержания никеля, указанное явление в инваре постепенно ослабляется и в 43%-ной никелевой стали исчезает, снова появляясь при дальнейшем обогащении сплава никелем до 70%, когда получается уже совершенно неизменяемый сплав. Исследуя причины описанной неустойчивости И., Гильом нашел, что углерод, всегда присутствующий в железе, играет большую роль в этом явлении. Устойчивость И. находится в прямой зависимости от количества содержащегося в сплаве углерода: чем это содержание меньше, тем сплав устойчивее. Уменьшить или даже совершенно устранить это вредное влияние углерода оказалось возможным путем добавления к сплаву хрома или ванадия в небольшом количестве. Т. о. была разрешена задача изготовления сплава с малым и неизменным коэфф-том расширения. Применение никелевой стали не ограничивается лишь изготовлением мер длины (геодезич. базисных мер, проволок и т. п.), но имеет место и в часовом деле при изготовлении маятников из двух металлов—стали и латуни—для сохранения возможно большего постоянства их длины при изменениях $t°$; никелевую сталь можно подобрать так, что достигается полная гарантия неизмен-

ности длины маятника при всяких $t°$, а не только для двух определенных значений $t°$, как то было достижимо при применении обыкновенной стали.

Изучая изменение упругих свойств никелевой стали, Гильом нашел еще один способ ее применения. Коэфф. упругости данной никелевой стали при разных $t°$ изменяется вместе с изменением термич. коэфф-та расширения: чем этот последний меньше, тем коэфф. упругости больше. Но если к никелевой стали прибавить марганец или хром, то способность ее к изменению упругих свойств ослабляется, и при содержании 12% хрома это изменение в пределах определенных $t°$ становится почти незаметным. Получаемый т. о. сплав, названный Гильомом эльинваром (élasticité invariable), т. е. сплав с неизменяющимся коэфф-том упругости, нашел себе применение в некоторых областях техники, напр. для изготовления нитей в крутильных весах, для изготовления часовых пружин и т. п. См. также *Спр. ТЭ*, т. II.

Лит.: Guillaume Ch. Éd., Études métrologiques sur les aciers au nickel, «Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures», Paris, 1927, t. 17; Chevenard P., Recherches expérimentales sur les alliages de fer, de nickel et de chrome, ibid.

А. Доброхотов.

ИНВАРИАНТЫ, в теории форм, такая функция коэфф-тов формы, которая, будучи умножена на модуль данного линейного преобразования, равна аналогичной функции коэфф-тов преобразованной формы (см. *Алгебраическая форма*). Линейное преобразование формы $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, содержащей n переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$, состоит в замене этих переменных выражениями вида:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= a_1^{(1)}\bar{x}_1 + a_2^{(1)}\bar{x}_2 + \ldots + a_n^{(1)}\bar{x}_n \\ x_2 &= a_1^{(2)}\bar{x}_1 + a_2^{(2)}\bar{x}_2 + \ldots + a_n^{(2)}\bar{x}_n \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ x_n &= a_1^{(n)}x_1 + a_2^{(n)}\bar{x}_2 + \ldots + a_n^{(n)}\bar{x}_n \end{aligned}\right\}, \quad (1)$$

где $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n$—новые переменные. Ф-ия $\varphi(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n)$, получившаяся в результате подстановки выражений (1) в данную функцию f, называется преобразованной функцией, а определитель

$$D = \begin{vmatrix} a_1^{(1)}, & a_2^{(1)}, \ldots, & a_n^{(1)} \\ a_1^{(2)}, & a_2^{(2)}, \ldots, & a_n^{(2)} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a_1^{(n)}, & a_2^{(n)}, \ldots, & a_n^{(n)} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

составленный из коэфф-тов выражений (1), называется модулем преобразования. Если $A_1, A_2, \ldots, A_{n+1}$—коэфф-ты членов данной формы f, а $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \ldots, \bar{A}_{n+1}$—коэфф-ты преобразованной формы φ, то возможно образовать такую ф-ию I от $A_1, A_2, \ldots, A_{n+1}$, называемую И. данной формы f, к-рая, будучи умножена на модуль преобразования в некоторой степени, будет равна такой же ф-ии от $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \ldots, \bar{A}_{n+1}$, так что

$$I(A_1, A_2, \ldots, A_{n+1}) \cdot D^{\omega} = I(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \ldots, \bar{A}_{n+1}). \quad (\omega)$$

Так, напр., для квадратичной формы с двумя переменными $A_1x_1^2 + 2A_2x_1x_2 + A_3x_2^2$ имеем формулы линейного преобразования:

$$x_1 = a_1^{(1)}\bar{x}_1 + a_2^{(1)}\bar{x}_2;$$
$$x_2 = a_1^{(2)}\bar{x}_1 + a_2^{(2)}\bar{x}_2.$$

Подставляя эти значения x_1 и x_2 в данную ф-ию, получаем преобразованную ф-ию:

$$\varphi = A_1(a_1^{(1)}x_1 + a_2^{(1)}\bar{x}_2)^2 + 2A_2(a_1^{(1)}\bar{x}_1 + a_2^{(1)}\bar{x}_2)(a_1^{(2)}\bar{x}_1 + a_2^{(2)}\bar{x}_2) + A_3(a_1^{(2)}\bar{x}_1 + a_2^{(2)}\bar{x}_2)^2 = \bar{A}_1\bar{x}_1^2 + 2\bar{A}_2\bar{x}_1\bar{x}_2 + \bar{A}_3\bar{x}_2^2,$$

где

$$\bar{A}_1 = A_1a_1^{(1)^2} + 2A_2a_1^{(1)}a_1^{(2)} + A_3a_1^{(2)^2},$$
$$\bar{A}_2 = A_1a_1^{(1)}a_2^{(1)} + A_2(a_1^{(1)}a_2^{(2)} + a_2^{(1)}a_1^{(2)}) + A_3a_1^{(2)}a_2^{(2)},$$
$$\bar{A}_3 = A_1a_2^{(1)^2} + 2A_2a_2^{(1)}a_2^{(2)} + A_3a_2^{(2)^2}.$$

Нетрудно убедиться, что в рассматриваемом случае имеет место следующее равенство:

$$(A_1A_3 - A_2^2)D^2 = \bar{A}_1\bar{A}_3 - \bar{A}_2^2,$$

где $D = \begin{vmatrix} a_1^{(1)}, a_2^{(1)} \\ a_1^{(2)}, a_2^{(2)} \end{vmatrix}$;

так что $A_1A_3 - A_2^2$ есть И. рассматриваемой квадратичной формы. И. последних типов встречаются в аналитической геометрии.

В теории групп И. группы преобразований называется такая ф-ия координат $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$ двух каких-либо точек многообразия n-го измерения M_n, к-рая при всех преобразованиях, принадлежащих к данной группе, сохраняет свой вид.

Пусть имеем n переменных $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$, могущих принимать всевозможные значения от $+\infty$ до $-\infty$. Совокупность M_n всех значений этих переменных называется многообразием n-го измерения. Совокупность каких-нибудь определенных значений этих переменных $x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \ldots, x_n^{(1)}$ называется точкой или элементом многообразия, а отдельные значения этих величин называются координатами этой точки. Если переменные $x_1, x_2, \ldots, x_n$ связаны определенным образом с переменными $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n$ другого многообразия n-го измерения $\bar{M}_n$, то говорят, что одно многообразие переходит в другое при помощи преобразования координат или при помощи точечного преобразования, при чем обычно требуется еще, чтобы каждая точка одного многообразия переходила в одну и только в одну точку другого многообразия, и обратно. Наиболее простым точечным преобразованием является преобразование, при к-ром координаты преобразованного многообразия $\bar{M}_n$ являются линейными ф-иями преобразуемого многообразия M_n, т. е. при котором имеют место следующие равенства:

$$\bar{x}_i = a_i + \sum_{l=1}^{n} a_l^{(i)}x_l; \; (i = 1, 2, 3, \ldots, n). \quad (4)$$

Условием того, чтобы каждая точка M_n пере-

ходила в одну—и только в одну—точку $\bar{M}_n$, служит неравенство:

$$\begin{vmatrix} a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, a_3^{(1)}, \dots, a_n^{(1)} \\ a_1^{(2)}, a_2^{(2)}, a_3^{(2)}, \dots, a_n^{(2)} \\ \dots\dots\dots\dots \\ a_1^{(n)}, a_2^{(n)}, a_3^{(n)}, \dots, a_n^{(n)} \end{vmatrix} \neq 0, \qquad (5)$$

где левая часть есть *определитель* (см.), составленный из коэфф-тов $a_l^{(i)}$. Преобразование, выраженное формулами (4), носит название а ф ф и н н о г о преобразования. Если, кроме того, n^2 коэфф-тов $a_l^{(i)}$ связаны между собой соотношениями

$$\sum_{i=1}^{i=n} a_r^{(i)} a_s^{(i)} = \delta_r^{(s)}; \quad r, s = 1, 2, 3, \dots, n, \qquad (6)$$

при чем $\delta_r^{(s)} = +1$ при $r = s$ и $\delta_r^{(s)} = 0$ при $r \neq s$, то преобразование называется а ф ф и н н ы м о р т о г о н а л ь н ы м преобразованием. Так, для случая трехмерного многообразия, т. е. при $n=3$, уравнения аффинного преобразования (4) принимают следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} \bar{x}_1 &= a_1 + a_1^{(1)} x_1 + a_2^{(1)} x_2 + a_3^{(1)} x_3 \\ \bar{x}_2 &= a_2 + a_1^{(2)} x_1 + a_2^{(2)} x_2 + a_3^{(2)} x_3 \\ \bar{x}_3 &= a_3 + a_1^{(3)} x_1 + a_2^{(3)} x_2 + a_3^{(3)} x_3 \end{aligned}\right\}. \qquad (7)$$

Для случая же аффинного ортогонального преобразования имеем, кроме того, следующие соотношения, получаемые из (6) и выражающие обычные условия ортогональности в трехмерном пространстве:

$$\left.\begin{aligned} (a_1^1)^2 + (a_1^2)^2 + (a_1^3)^2 = 1 \;\Big|\; a_1^1 a_2^1 + a_1^2 a_2^2 + a_1^3 a_2^3 = 0 \\ (a_2^1)^2 + (a_2^2)^2 + (a_2^3)^2 = 1 \;\Big|\; a_2^1 a_3^1 + a_2^2 a_3^2 + a_2^3 a_3^3 = 0 \\ (a_3^1)^2 + (a_3^2)^2 + (a_3^3)^2 = 1 \;\Big|\; a_3^1 a_1^1 + a_3^2 a_1^2 + a_3^3 a_1^3 = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (8)$$

Пусть имеется точечное преобразование, определяемое ф-лами

$$\bar{x}_i = \varphi_{1i}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, и другое точечное преобразование, определяемое ф-лами

$$\bar{\bar{x}}_i = \varphi_{2i}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; тогда точечное преобразование

$$\bar{\bar{x}}_i = \varphi_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, являющееся результатом последовательного применения данных преобразований, называется их произведением. Обозначая символически эти преобразования соответственно через T_1, T_2 и T, можно написать: $T = T_2 \cdot T_1$, что в символической форме представляет следующее равенство:

$$\varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = \varphi_{2i}[\varphi_{11}(x_1, x_2, \dots, x_n), \varphi_{12}(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, \varphi_{1n}(x_1, x_2, \dots, x_n)]. \qquad (9)$$

Нетрудно видеть, что произведение преобразований обычным свойством коммутативности не обладает.

В качестве примера действия над преобразованиями рассмотрим следующий случай. Преобразование T_1 заключается в следующем: $\bar{x}_i = 3x_i + a_i$, а преобразование T_2: $\bar{\bar{x}}_i = 2x_i - b_i$.

$$T = T_2 T_1 = 2(3x_i + a_i) - b_i = 6x_i + 2a_i - b_i;$$
$$T' = T_1 T_2 = 3(2x_i - b_i) + a_i = 6x_i - 3b_i + a_i;$$
$$T \neq T'.$$

Можно рассматривать не одно какое-либо преобразование, а целую совокупность преобразований, обладающих каким-нибудь общим свойством. Из таких совокупностей особое значение имеют в современной теоретич. физике и в теории относительности т. н. г р у п п ы п р е о б р а з о в а н и й (см. также *Группа*). Группой преобразований называют такую совокупность их, к-рая обладает тем свойством, что всякое произведение преобразований, входящих в состав данной совокупности, есть преобразование, также входящее в данную совокупность; например, если преобразования T_1, T_2, T_3 входят в состав какой-либо группы преобразований, то преобразования T_1T_2, T_2T_3, $T_1T_2T_3$ и т. д. также входят в состав этой группы. Символически группу преобразований обозначают через $\boxed{T}$. Часто какая-либо часть преобразований, входящих в состав данной группы, обладает каким-нибудь свойством, не общим для всей группы; тогда они составляют т. н. п о д г р у п п у преобразований. Само собою разумеется, что подгруппа преобразований также составляет группу; так, из группы точечных преобразований можно выделить т. н. m-п а р а м е т р е н н у ю подгруппу точечных преобразований, т. е. такую совокупность их, к-рая зависит существенным образом от m произвольных параметров $q_1, q_2, \dots, q_m$, так что

$$x_i = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n, q_1, q_2, \dots, q_m), \qquad (10)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$. Такую m-параметренную группу символически обозначают через $\boxed{G_m}$. Частный вид аффинных преобразований (4), например

$$\bar{x}_i = x_i + a_i, \qquad (11)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, содержит в себе n параметров a_i, так что эту группу аффинных преобразований, называемую группой параллельного переноса, можно символически обозначить через $\boxed{G_n}$. Общая же группа аффинных преобразований (4) содержит n параметров a_i и n^2 параметров $a_l^{(i)}$, так что ее можно символически обозначить через $\boxed{G_{n+n^2}}$. При $n = 3$ эта группа будет содержать 12 параметров. Аффинная группа преобразований содержит в себе две подгруппы: подгруппу п а р а л л е л ь н о г о п е р е н о с а (11), получающуюся из (7) при $a_l^{(i)} = 0$, если $i \neq l$, и $a_l^{(i)} = 1$, если $i = l$, и т. н. о д н о р о д н у ю подгруппу аффинных преобразований, получающуюся при $a_i = 0$ и содержащую n^2 параметров $a_l^{(i)}$.

При исследовании целого ряда вопросов теоретич. физики, геометрии и т. д. особенно важное значение приобретают понятия И. г р у п п ы и и н в а р и а н т н ы х у р-и й группы. Как было уже сказано выше, И.

группы преобразований $|T|$ называется такая ф-ия координат $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$ двух каких-либо произвольно взятых точек многообразия M_n, к-рая не меняет своего вида при всех преобразованиях, входящих в состав данной группы. Т. о., если

$$I = I(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}, \ldots, x_n^{(1)}, x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, x_3^{(2)}, \ldots, x_n^{(2)}) \quad (12)$$

есть И. данной группы, то должно иметь место равенство

$$I(\bar{x}_1^{(1)}, \bar{x}_2^{(1)}, \bar{x}_3^{(1)}, \ldots, \bar{x}_n^{(1)}, \bar{x}_1^{(2)}, \bar{x}_2^{(2)}, \ldots, \bar{x}_n^{(2)}) = I(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}, \ldots, x_n^{(1)}, x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, x_3^{(2)}, \ldots, x_n^{(2)})$$

при всех преобразованиях данной группы; так, для группы параллельного переноса (11) И. будет

$$I_i = x_i^{(2)} - x_i^{(1)}, \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \quad (12')$$

так как $I_i' = \bar{x}_i^{(2)} - \bar{x}_i^{(1)} = x_i^{(2)} + a_i - x_i^{(1)} - a_i = x_i^{(2)} - x_i^{(1)} = I_i$.

Инвариантным ур-ием данной группы преобразований $|T|$ называется такое ур-ие, содержащее координаты каких-либо двух точек многообразия M_n,

$$I(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}; \ldots, x_n^{(1)}, x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \ldots, x_n^{(2)}) = 0, \quad (13)$$

к-рое имеет при всех преобразованиях группы те и только те решения, что и ур-ие

$$I(x_1^{(1)}, \bar{x}_2^{(1)}, \bar{x}_3^{(1)}, \ldots, \bar{x}_n^{(1)}, \bar{x}_1^{(2)}, \bar{x}_2^{(2)}, \ldots, \bar{x}_n^{(2)}) = 0, \quad (13')$$

рассматриваемое как уравнение относительно $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$.

Если дана какая-либо ф-ия (12) координат $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$, то совокупность всех преобразований, при к-рых эта ф-ия сохраняет свой вид, образует группу точно так же, как все преобразования, сохраняющие инвариантность данного ур-ия (13).

В частной теории относительности Эйнштейна и в электродинамике имеет фундаментальное значение особая подгруппа аффинной группы в M_4, называемая общею группою Лоренца и имеющая следующий инвариант:

$$I = (x_1^{(2)} - x_1^{(1)})^2 + (x_2^{(2)} - x_2^{(1)})^2 + (x_3^{(2)} - x_3^{(1)})^2 - c^2 (x_4^{(2)} - x_4^{(1)})^2. \quad (14)$$

Кроме того, встречается аффинная подгруппа преобразований в M_4, имеющая инвариантное уравнение той же формы, что и (14), т. е. инвариантное ур-ие

$$I = (x_1^{(2)} - x_1^{(1)})^2 + (x_2^{(2)} - x_2^{(1)})^2 + (x_3^{(2)} - x_3^{(1)})^2 - c^2 (x_4^{(2)} - x_4^{(1)})^2 = 0. \quad (14')$$

Последняя группа преобразований носит название расширенной группы Лоренца. Аналогично можно говорить об общей и расширенной группах Лоренца в многообразии M_2. В последнем случае формулы аффинного преобразования имеют следующий вид (из ф-лы 7):

$$\left.\begin{aligned} \bar{x}_1 &= a_1 + a_1^{(1)} x_1 + a_2^{(1)} x_2 \\ \bar{x}_2 &= a_2 + a_1^{(2)} x_1 + a_2^{(2)} x_2 \end{aligned}\right\}. \quad (15)$$

Или, если обозначить для простоты x_1 и x_2 через x и t, а коэфф-ты a_1, $a_1^{(1)}$, $a_2^{(1)}$, a_2, $a_1^{(2)}$, $a_2^{(2)}$ соответственно через a, a_1, a_2, b, b_1, b_2, то получим:

$$\left.\begin{aligned} \bar{x} &= a + a_1 x + a_2 t \\ \bar{t} &= b + b_1 x + b_2 t \end{aligned}\right\}. \quad (15')$$

Подставляя значение (15′) в равенство

$$(\bar{x}^{(2)} - \bar{x}^{(1)})^2 - c^2(\bar{t}^{(2)} - \bar{t}^{(1)})^2 = (x^{(2)} - x^{(1)})^2 - c^2(t^{(2)} - t^{(1)})^2, \quad (16)$$

выражающее требующуюся инвариантность, и произведя соответствующие преобразования, получим следующие соотношения между коэффициентами:

$$a_1^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad b_2 = -\frac{v^2}{c^2 b_1 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}; \quad b_1^2 = -\frac{\frac{v^2}{c^4}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (17)$$

где $v = -\frac{a_2}{a_1}$; при этом группа преобразований (15′) принимает следующий вид:

$$\bar{x} = a + \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad \bar{t} = b + \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (18)$$

Полученная группа Лоренца в M_2, имеющая И. (16), называется частной группой Лоренца и имеет фундаментальное значение как в частной теории относительности, так и в новейшей волновой механике (de Broglie и др.).

Теория И. и соответствующих групп преобразований имеет крупное значение, т. к. по современным воззрениям как свойства пространства, так и основные свойства законов природы не зависят от координатных систем, т. е. они инвариантны по отношению к преобразованию координат. Об И. с точки зрения тензорного анализа см. *Тензорное исчисление*.

В теоретич. механике играют известную роль т. н. интегральные И., сущность к-рых в простейших случаях заключается в следующем. Допустим, что имеется система дифференциальных ур-ий:

$$\frac{dx_1}{dt} = X_1, \quad \frac{dx_2}{dt} = X_2, \ldots, \frac{dx_n}{dt} = X_n, \quad (19)$$

где $X_1, X_2, \ldots, X_n$ суть нек-рые ф-ии переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$ и t. Если принять переменные x_i за координаты пространства n измерений, а t рассматривать как меру времени, то совокупность дифференциальных уравнений (19) определит некоторое семейство кривых (D). Ур-ия движения точки по какой-либо из кривых семейства (D), а тем самым и вид кривой соответствуют определенным начальным условиям движения, т. е. значениям координат $x_1^0, x_2^0, \ldots, x_n^0$, имевшим место в момент t^0. Обозначим это начальное положение точки через P^0, а положение ее в момент t через P. Допустим, что мы рассматриваем вариации координат при перемещении P^0 по нек-рой кривой C^0 или при соответствующем перемещении P по кривой C', и возьмем далее интеграл

$$I = \int Q_1 \delta x_1 + Q_2 \delta x_2 + \ldots + Q_n \delta x_n, \quad (20)$$

где Q_i суть нек-рые ф-ии переменных $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ и t, а интеграл взят вдоль кривой C'.

Если перемещать точку P^0 по C^0, то x_i^0 будут ф-иями некоторого параметра μ, принимающего на крайних точках C^0 нек-рые значения μ_0 и μ_1. С другой стороны, переменные x_i суть ф-ии от x_i^0 и t. Поэтому вдоль дуги C' координаты x_i суть также ф-ии параметров μ и t, при чем при интегрировании (20) следует считать $t=\text{Const}$. Если затем начать изменять время t, то пределы интегрирования останутся μ_0 и μ_1, но, так как элемент интегрирования зависит от t, то и I в общем будет зависеть от t. Может случиться, однако, что I окажется независимым от времени t, какова бы ни была дуга C'. Такой интеграл и называется интегральным И.

Интегральные И. более сложных форм связаны с т. н. гамильтоновыми и каноническими ур-иями движения и нашли применение при исследовании вопросов, связанных с устойчивостью тел, в т. н. статистич. механике, в кинетич. теории газов, в термодинамике и других науках. Интегральные И. были впервые исследованы Пуанкаре.

Лит.: Клейн Ф., О геометрич. основаниях Лоренцовой группы, сборник «Новые идеи в математике», СПБ, 1914, 7; Фредерикс В. и Фридман А., Основы теории относительности, Л., 1924; Аппель П., Теоретич. механика, т. 2, М., 1911; Lie Sophus, Theorie d. Transformationsgruppen, B. 1—3, Lpz., 1888—93; Lie Sophus, Vorlesungen über kontinuirl. Gruppen. Zur Einführung in die Theorie derselben, bearb. u. hrsg. v. G. Scheffers, Lpz., 1891; Klein F., Ueber die geometrischen Grundlagen d. Lorenzgruppe, «Jahresbericht d. Deutsch. Mathematiker-Vereinigung», Lpz., 1910, B. 19; v. Laue M., Die Relativitätstheorie, B. 1, Braunschweig, 1921; Blaschke W., Vorlesungen über Differential-geometrie u. geometr. Grundlagen v. Einsteins Relativitätstheorie, B. 2, B., 1923; Weyl H., Raum, Zeit, Materie, 5 Auflage, B., 1923; Poincaré H., «Acta Mathematica», P., 1890, v. 13; Poincaré H., Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste, v. 3, P., 1899; Cartan E., Leçons sur les invariants intégraux, P., 1922; Jeans J. H., The dynamical Theory of Gases, Cambridge, 3 ed., 1921; Levi-Civita T. ed Amaldi U., Lezioni di meccanica razionale, v. 2, parte 2, Bologna, 1927; Whittaker E., Analytische Dynamik der Punkte und starren Körper, Berlin, 1924; Appell P., Traité de mécanique rationnelle, v. 2, Paris, 1924, v. 5, P., 1925; Carnoy J., Cours de géométrie analytique, Paris, 1904; Niewenglowsky B., Cours de géométrie analytique, v. 1—3, Paris, 1911—14. **М. Серебренников.**

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ, выяснение в натуре, описание, оценка и подсчет вещественных ценностей и расчетов (прав и обязательств) на определенный момент. Полная И. распространяется на все хозяйство; частичная—только на часть его (отдел, отделение, цех и пр.) или на известную группу ценностей.

При описании ценностей точно устанавливается: а) время проверки; б) точное название предметов; в) местонахождение—по плану, по номеру и названию помещения, а при нахождении вне данного хозяйства—точное его местопребывание и условия последнего (в аренде, залоге, на хранении, комиссии, в ремонте); г) принадлежность чужих объектов с указанием условий и оснований (залог, хранение, переработка, комиссия); д) главнейшие технич. признаки—тип, марка, год постройки, фирма, система, конструкция, материал, мощность, давление, размер; е) качественное состояние—износ, степень годности по полезному действию, по времени поступления, по расходам эксплоатации, по неточности действия, по ненадежности и неудобству работы, по устарелой конструкции; ж) количество в определенном измерении—по объему, длине, площади, поштучно; особо отмечается, как установлено это количество: сплошной проверкой или выборкой; з) степень готовности. По расчетам указывается: контрагент, характер расчета, документальное обоснование, дата и № документа, сроки платежей, размер расчета, реальность; долг причисляется к сомнительным в случае несостоятельности контрагента, направления дела в суд, спорности претензии, а к безнадежным—в случае отказа судом в иске, истечения давности, нерозыска должника. Особо отмечаются на основе документов те реальные авансовые расходы и доходы, которые относятся к будущему времени, как, напр., вперед уплаченная или полученная арендная плата.

Оценка инвентаризируемых предметов производится: либо по стоимости приобретения, заготовки и производства (по себестоимости); либо по рыночным, биржевым, регламентированным продажным или покупным ценам; либо по восстановительной стоимости (стоимости воспроизводства); либо по реально возможной выручке в зависимости от годности, доходности и т. п. условий. Чужие, подлежащие возврату предметы оцениваются по указанию их владельцев, а при отсутствии такого указания—в обычном порядке или в условной сумме. В целях обеспечения правильности баланса и налогового обложения методы оценки обычно регламентируются законодательством. Наше законодательство устанавливает следующие правила. а) Земельные участки, месторождения ископаемых, леса и воды учитываются только количественно, без денежной оценки. В капиталистич. странах, где перечисленные объекты участвуют в гражданском обороте, они оцениваются на общих основаниях. До декрета о трестах от 29 июня 1927 г. эти объекты у нас показывались со справкой о их довоенной оценке. б) Строения, сооружения, машины, оборудование, инвентарь и т. п. имущество, как законченные, так и незаконченные, оцениваются по фактич. стоимости сооружения, постройки или приобретения, включая расходы по перевозке, установке и подготовке к действию. Исключение составляют предметы, сооруженные до установления твердой червонной валюты. Эти объекты раньше показывались в довоенной оценке с учетом износа; в настоящее время они переоценены в червонные рубли с учетом износа на дату их переоценки, и выявленная таким обр. их оценка принимается за исходную. Оценка имущества остается все время его существования неизменной, а износ его характеризуется амортизационными отчислениями (см. *Амортизация*). в) Котирующиеся ценные бумаги и иностранная валюта оцениваются по курсу Московской фондовой биржи на день И., а некотирующиеся—по стоимости покупки за вычетом включенных в нее организационных расходов. В описях особо указывается номинальная стоимость бумаг. г) Материально-товарные ценности оцениваются по

себестоимости. Для товаров, в тех случаях, когда себестоимость превышает продажные цены, особо указываются также и последние; на разницу в оценках по себестоимости и продажным ценам составляется особый резерв. д) Расчеты (права и обязательства) по открытым счетам, распискам, векселям и прочим документам показываются в полной сумме; безнадежные долги, до истечения давности, оцениваются в один рубль каждый, с отметкой об их полной первоначальной сумме; по сомнительным долгам отмечается особо размер сомнительной части, которая резервируется в балансе. Расчеты в иностранной валюте показываются в последней с пересчетом в рубли по курсу Московской фонд. биржи на день И. е) Расходы и доходы, относящиеся к будущему времени, показываются в сумме, оставшейся непогашенной прошлыми операциями.

Подсчитанные объекты классифицируются применительно к структуре и номенклатуре баланса по разделам и группам (имущество, материалы, товары, денежные средства, дебиторы и т. д.), к-рые, в свою очередь, детализируются (напр. имущество—на здания, машины, оборудование; здания—на производственные, обслуживающие, жилые, а равно на каменные, деревянные и т. д.).

Получаемая таким образом систематич. опись называется инвентарною описью и служит основой для инвентарного баланса.

И. обычно поручается определенным лицам или комиссиям, состоящим из счетных работников и инженеров или техников; эти лица или из центра инструктируют и контролируют работу или же на местах непосредственно производят И. Непосредственные работники по И. снабжаются специальными ведомостями, бланками, ярлыками, старыми описями и всеми необходимыми приспособлениями для обмера, подсчета и оценки. Для облегчения И. предметы обыкновенно заблаговременно размещаются по однородным группам, сортам, размерам и развесам. И. производится в порядке расположения имущества по корпусам, отделам и цехам. Предметы описываются и учитываются индивидуально, комплектами или целыми группами, в зависимости от их природы и ценности. Количество определяется: а) непосредственной проверкой, обмером и взвешиванием; б) по пробным партиям, с последующим исчислением всего количества по взятым пробам; в) наконец, количество устанавливается по бесспорным документам — накладным, надписям на упаковке и пр. Определение количества по пробе или по документам практикуется гл. обр. для громоздких и крупных партий, а равно там, где непосредственная проверка вызовет потери от раструски, утечки, усушки и порчи или лишние расходы, замедление работы и т. п. На проверенных предметах обычно делается особая отметка, а именно, наклеивается ярлык, прибивается инвентарный номер, ставится знак. Обычно каждому предмету имущества, входящего в состав основного капитала, присваивается постоянный инвентарный номер. Целесообразно устанавливать нумерацию по категориям имущественных объектов; напр. для зданий № 1—500, для машин—№ 501—1 000 и т. д., разбивая затем каждую категорию на более мелкие группы.

Инвентарные ведомости подписываются лицами, производившими И., и лицом, хранящим имущество. По окончании И. лица, производившие ее, составляют акт и отчет и вместе с подписанными ими инвентарными описями сдают управлению хозяйством.

Лит.: Гинзбург А., Техника инвентаризации, М.—Л., 1927; Герстнер П., Анализ баланса, М., 1926; Вейцман Н. Р., Курс балансоведения, гл. 10 и 11, М., 1928; Энциклопедия торгового счетоводства, под ред. Р. Я. Вейцмана, М., 1926; Законодательство по бухгалтерской отчетности, под ред. А. Локшина, гл. 7 и 8, М.—Л., 1926; Собрание законов СССР, 1927, *63*, стр. 636, 1928, *1*, стр. 2. См. также *Амортизация*, *Баланс*. **А. Локшин.**

ИНВЕРСИЯ в математике. 1) И. в теории соединений, нарушение нормального порядка двух элементов в перестановке независимо от того, стоят ли эти два элемента рядом или отделены друг от друга промежуточными элементами. Перестановка, в которой порядок элементов принимается за нормальный, называется главной.

Пример. В перестановке *eacbd* элементы *a* и *e*, *c* и *e*, *b* и *e*, *d* и *e*, *b* и *c* образуют И., если за главную принять перестановку *abcde*.

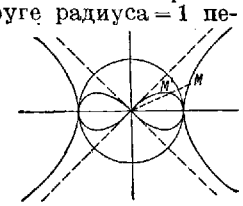
Перестановки без И. или с четным числом И. называются перестановками четного типа, а перестановки с нечетным числом И.—перестановками нечетного типа. Число перестановок того и другого типа из данного числа элементов одинаково. Для определения числа И. в данной перестановке нужно подсчитать элементы, стоящие перед элементом, к-рый в главной перестановке занимает первое место, затем, вычеркнув его, подсчитать элементы, стоящие перед вторым элементом (главной перестановки) и т. д.; сумма найденных чисел представит число И. в перестановке. Так, в приведенном выше примере, в перестановке *eacbd*—одна И. относительно *a*; в перестановке *ecbd*—две И. относительно *b*; в *ecd*—одна И. относительно *c*; в *ed*—одна И. относительно *d*,—всего пять И.; т. о., перестановка в этом случае нечетного типа. Перестановкам четного типа сопутствует знак «плюс», перестановкам нечетного типа—«минус». И. находят применение, напр., в теории определителей.

2) И. в геометрии, преобразование обратными радиусами, на плоскости состоит в следующем: задается окружность данного радиуса R с центром в точке O (центр И.). Любой точке M плоскости соответствует точка M', лежащая на полупрямой OM на расстоянии, удовлетворяющем равенству: $OM \cdot OM' = R^2$ (соответствие взаимное). Т. о., при И. область, внешняя относительно круга, переходит во внутреннюю и обратно; центр И. переходит в бесконечно удаленную точку плоскости (предполагаемую единственной). Ф-лы И. (если центр И. лежит в начале координат) для $M(x,y)$ и $M'(x',y')$:

$$x' = \frac{R^2 x}{x^2+y^2}, \quad y' = \frac{R^2 y}{x^2+y^2}.$$

Окружности и прямые при инверсии переходят в окружности (в частном случае окружности переходят в прямые).

Пример. Равнобочная гипербола $x^2-y^2=1$ при И. в круге радиуса $=1$ переходит в лемнискату $(x'^2+y'^2)^2-R^4(x'^2-y'^2)=0$ (см. фиг.).



Инверсия в пространстве определяется аналогично, с заменой окружности поверхностью шара.

ИНВЕРСИЯ в химии, гидролиз полисахаридов; термин И. чаще применяется для обозначения гидролиза тростникового сахара:

$$\underset{\text{тростниковый сахар}}{C_{12}H_{22}O_{11}}+H_2O=\underset{\text{d-глюкоза}}{C_6H_{12}O_6}+\underset{\text{d-фруктоза}}{C_6H_{12}O_6}.$$

Процесс гидролиза полисахаридов связан с изменением направления вращения плоскости поляризации; так, тростниковый сахар вращает плоскость поляризации вправо ($[\alpha]_D^{20}=+66{,}67°$), а продукт его превращения—*инвертный сахар* (см.)—влево, а именно, $[\alpha]_D^{20}=-20{,}59°$.

И. протекает под каталитич. влиянием минеральных к-т или природных катализаторов—энзимов. И. тростникового сахара служила объектом многочисленных исследований как в области химич. кинетики, так и в области изучения природы каталитич. явлений (см. *Катализ*). Скорость И. в случае разбавленных растворов к-т (т. е. при полной диссоциации их) пропорциональна концентрации водородных ионов; в случае концентрированных к-т наблюдаются заметные отклонения в сторону возрастания констант, и потому нельзя считать вполне установленным, что каталитическим агентом являются только ионы водорода.

К энзимам, вызывающим И., относятся: инвертаза (инвертин), мальтаза, лактаза, раффиназа и др. Энзимы обладают специфич. действием; так, напр., мальтаза гидролизует только мальтозу и инактивна по отношению к тростниковому сахару, к-рый подвергается И. под влиянием инвертазы. **С. Медведев.**

ИНВЕРТНЫЙ САХАР, инвертированный сахар, продукт *инверсии* (см.) сахарозы, представляющий собой смесь равных количеств *d*-глюкозы и *d*-фруктозы. Инверсия сахарозы происходит под влиянием кислот и энзимов по ур-ию:

$$\underset{\text{сахароза}}{C_{12}H_{22}O_{11}}+H_2O=\underbrace{\underset{\text{d-глюкоза}}{C_6H_{12}O_6}+\underset{\text{d-фруктоза}}{C_6H_{12}O_6}}_{\text{инвертный сахар}}.$$

Скорость инверсии зависит от концентрации сахарозы и кислоты, природы кислоты и температуры. Константа инверсии, по Вильгельми (Wilhelmy), равна

$$K=\frac{1}{t}\ln\frac{a}{a-x},$$

где a — количество молей (т. е. граммолекул) сахарозы в 1 *л*, x—количество молей в в 1 *л* инвертного сахара, образовавшегося за время t. Т. о., скорость инверсии в каждый данный момент пропорциональна концентрации негидролизованной сахарозы. Инверсионная энергия кислот, в случае слабой концентрации, пропорциональна концентрации водородных ионов. По Оствальду, инверсионные константы различных к-т при 25° и при концентрации, равной 0,5 N, выражаются следующими величинами, если принять константу для соляной к-ты за 100:

соляная к-та	100,0	лимонная к-та	1,72
азотная »	100,0	муравьиная »	1,53
серная »	53,6	яблочная »	1,27
щавелевая »	18,57	молочная »	1,07
сернистая »	15,16	уксусная »	0,40
фосфорная »	6,21		

Концентрированные кислоты повышают константу инверсии; кислые соли различных к-т обладают инверсионной способностью, средние же соли оказывают влияние на скорость инверсии или в сторону ускорения или в сторону замедления. Т. о., скорость инверсии зависит не только от концентрации водородных ионов [1]. При полной инверсии 1 вес. ч. сахарозы дает 1,053 вес. ч. И. с.

В технике И. с. готовят нагреванием 80%-ного сахарного сиропа с 0,05% соляной к-ты (или с 0,2% муравьиной, винной или лимонной к-ты) до 95 — 100°; затем нейтрализуют к-ту содой. По Герцфельду (Herzfeld), И. с. получают след. обр.: растворяют 125 *г* виннокаменной к-ты в 25 *л* воды, смешивают раствор с 100 *кг* сахара и нагревают на паровой бане до 103° в продолжение получаса; полученный горячий раствор И. с. фильтруют через полотно; охлажденный сироп сильно загустевает и может итти в пищу без нейтрализации.

Свежеприготовленный концентрированный раствор И. с. совершенно прозрачен, но при стоянии, особенно на свету, мутнеет вследствие кристаллизации глюкозы. Свойства И. с. определяются вполне свойствами углеводов, входящих в его состав, т. е. *d*-глюкозой и *d*-фруктозой. И. с. легко растворяется в воде и разбавленном спирте; плоскость поляризации вращает влево; удельное вращение его зависит от концентрации и в сильной степени от $t°$, а также и от реакции среды. В кислой среде И. с. имеет удельное вращение

$$[\alpha]_D=-\frac{27{,}9+0{,}044\,p-0{,}33\,t}{1{,}053},$$

где p—концентрация И. с., t—температура. При $p=10\%$ и $t=20°$

$$[\alpha]_D^{20}=-20{,}59°.$$

В нейтральной среде И. с. имеет удельное вращение несколько меньшее, а именно:

$$[\alpha]_D^{20}=-19{,}447-0{,}06068\,p+0{,}000221\,p^2.$$

При $p=10\%$ и $t=20°$

$$[\alpha]_D^{20}=-20{,}02°.$$

Влияние температуры на величину удельного вращения, по Гюббе (Gübbe), выражается следующими ф-лами:

при $t=$ от 0 до 30°

$$[\alpha]_D^t=-[\alpha]_D^{20}+0{,}3041(t-20)+0{,}00165(t-20)^2;$$

при $t=$ от 30 до 100°

$$[\alpha]_D^t=-[\alpha]_D^{20}+0{,}3246(t-20)+0{,}00021(t-20)^2.$$

И. с. обладает восстанавливающими свойствами и редуцирует медь из фелингова раствора. Этим свойством пользуются для количественного определения И. с. Для этого к 50 *см*³ фелингова раствора прибавляют 25 *см*³ исследуемого раствора, содержащего не более 1% И. с., объем доводят до 100 *см*³,

нагревают до кипения и кипятят точно 2 минуты. По количеству выпавшей закиси меди, по табл. Мейсля (Meissl), определяют количество И. с. [2]. Между вышавшей медью и И. с. существует такое соотношение:

$$y = -1{,}0845 + 1{,}9864\,x - 0{,}0008978\,x^2,$$

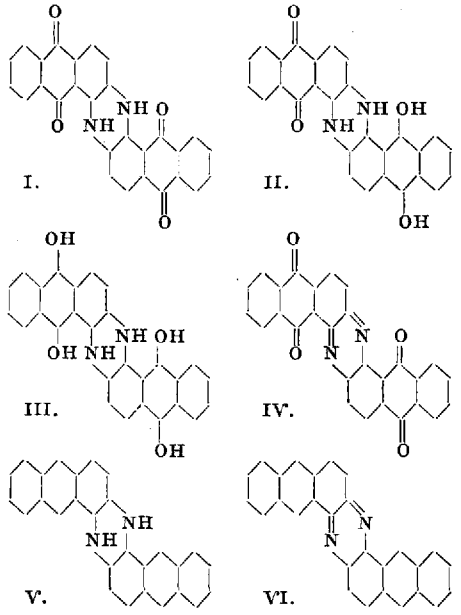
где y—количество меди в *мг*, x—количество И. с. в *мг*.

И. с. является легко усвояемым пищевым продуктом, содержится в плодах, ягодах, овощах и пр., служит материалом для приготовления искусственного меда. Присутствие технич. И. с. в меде открывается при помощи реакции Фиша (Fiche), для чего несколько *г* меда растирают в ступке с эфиром, эфирную вытяжку сливают, дают эфиру улетучиться при комнатной $t°$ и к остатку прибавляют несколько капель свежеприготовленного 1%-ного раствора резорцина в конц. HCl. В присутствии технич. И. с. получается оранжевое, переходящее в вишневокрасное окрашивание. Эта реакция основана на том, что при инвертировании сахарозы к-тами продукт распада левулозы, β-окси-δ-метилфурфурол, дает цветную реакцию с резорцином.

Лит.: [1]) Lippmann E., Die Chemie d. Zuckerarten, 3 Aufl., Halbband 2, p. 1261 u. ff., Lpz., 1904; [2]) Демьянов Н. Я., Общие приемы анализа растительных веществ. Агрономич. химия, стр. 75—88, М.—П., 1923.

И. Щербаков.

ИНДАНТРЕН, правильнее индантрон, синий антрахиноновый *кубовый краситель* (см.), обладающий выдающейся прочностью к мытью и свету; по химич. строению он представляет собой диантрахинондигидроазин строения (I)



И. был впервые получен Р. Боном [1] в 1901г. при сплавлении β-аминоантрахинона со щелочами. Этот путь получения И. оказался наиболее удобным и для технич. производства. В нагретый до 250° плав едкого кали вносят по частям β-аминоантрахинон в количестве $^1/_3$ от взятого едкого кали и при размешивании нагревают $^1/_2$ часа при 250° [2,3]. Плав разбавляют водой и осаждают содержащуюся в нем калиевую соль лейкосоединения И. продуванием воздуха. Выпавший в осадок краситель очищают растворением в щелочном растворе гидросульфита, и из фильтрованного раствора осаждается либо лейкоиндантрен поваренной солью либо готовый краситель продуванием воздуха. Степень чистоты И. сильно влияет на его прочность к хлору и окислителям. При этом методе выход И. составляет 48% теоретического. Некоторые патенты предлагают добавлять окислитель в плав И., но целесообразность этого не подтверждается экспериментальными данными, тем более что часто добавление окислителя вызывает бурную, доходящую до взрыва, реакцию. В плаве И. всегда присутствуют в различных количествах ализарин и флавантрен. Соотношение их количеств зависит от $t°$ плава: более низкая $t°$ способствует образованию ализарина, более высокая (310°)—образованию флавантрена. Объяснение их совместного образования по Швенку см. [3].

Лучшие выходы И., близкие к количественным, получаются при конденсации двух молекул 1-амино-2-бромантрахинона в нитробензольном или нафталиновом растворе (по Ульману) в присутствии безводной уксуснонатриевой соли и каталитически действующего медного порошка [5]. Для И. этот синтез имеет лишь теоретич. интерес, подтверждая строение И. Высокая же стоимость исходного продукта не позволяет этому способу конкурировать с методом щелочного плавления β-аминоантрахинона. Из остальных синтезов И. следует отметить [4] метод действия хлора на α-аминоантрахинон при 220°. Целый ряд синтезов И., не имеющих технич. значения, см. [3,4,6]. Интересна работа Р. Люлека [7], имеющая пока только теоретический интерес. 48%-ный выход И. при щелочном плавлении является побуждающим стимулом для дальнейшего усовершенствования метода щелочного плавления, и исследование в этой области продолжается. И. может давать два различных лейкопродукта (II и III) и продукт окисления, имеющий строение азина (IV). Первые два переходят обратно в И. при действии кислорода воздуха, последний же—при умеренном восстановлении. При действии сильных восстановителей И. переходит в антраценовое производное (V), к-рое при окислении образует не И., а азин строения (VI). Более глубокая окраска лейкосоединения (II) и продукта окисления (IV) является интересным материалом для объяснения связи между строением и цветностью [8]. И. обладает выдающейся прочностью к свету и мытью, но его прочность к окислителям, и особенно к хлору, заставляет желать лучшего. Нек-рые галоидопроизводные И. [9], поступающие в продажу под названием И. синего GCD, обладают более повышен. прочностью к хлору.

И. и его производные являются весьма распространенными кубовыми красителями и находят применение не только в печати и крашении, но и в литографском деле для замены мало прочного ультрамарина. Серьезными конкурентами И. являются тетраброминдиго, гидрон-синий и пирогеновый синий. В последнее время

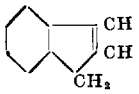
И. стал собирательным термином для ряда кубовых красящих веществ, отвечающих определенным требованиям прочности.

К индантреновым красителям относятся: 1) аминоантрахиноны, как индантреновый желтый SK, представляющий дибензоил-1,5-диаминоантрахинон, и ряд других; 2) антримиды, как индантреновый бордо В, получаемый конденсацией (по Ульману) 1,5-дихлорантрахинона с β-аминантрахиноном и др.; 3) красители, содержащие конденсированные антрахинонные ядра, как *виолантрен* (см.) и другие производные *бензантрона* (см.), пирроновые и периленовые производные; 4) красители, содержащие гетероциклич. ядра, как собственно индантрен, содержащий дигидроазиновое кольцо, антрахинон-акридоны, антрахинон-ксантоны, антрахинон-тиоксантоны и антрахинон-карбазолы.

Лит.: [1]) «B», 1903, B. 36, p. 930, 1910, B. 43, p. 999; [2]) Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, B., 1926; [3]) Cain J. a. Thorpe J., The Synthetic Dyestuffs, L., 1923; [4]) de Barry Barnett E., Anthracene a. Anthraquinone, N. Y., 1921; [5]) Г. П. 158287; Friedlaender P., Fortschritte d. Teerfarbenfabrikation u. verwandter Industriczweige, T. 8, p. 531, B., 1921; [6]) Friedlaender P., ibid., T. 1—15, B., 1920—28; [7]) Lulcck R. N., «Journ. of the Amer. Chem. Society», Wsh., 1927; [8]) Scholl, «B», 1903, B. 36, p. 3410, 3437, 3710, ibid., 1907, B. 40, p. 424; [9]) Г. П. 287590, 234950/24.

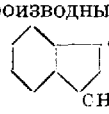
И. Иоффе.

ИНДЕН C_9H_8, жидкий углеводород, открытый во фракциях сырого бензола, кипящих при 176—182°; молекула И. состоит из двух конденсированных ядер — бензольного и пятичленного — пентадиена



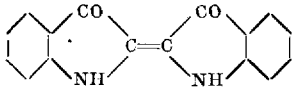
И. представляет собою светложелтое масло с $t°_{кип.}$ 179,5 — 180,5°, $t°_{замерз.}$ — 2°, уд. в. 1,002—1,008; на воздухе неустойчив, окисляется и превращается, особенно быстро при нагревании, в полимеризованный продукт. И. обладает слабо кислым характером; водород группы CH_2 может легко замещаться щелочными металлами; так, при нагревании до 100° с натрием или амидом натрия, И. дает соль — натрий-инден C_9H_7Na. Для И. характерен трудно растворимый пикрат, кристаллизующийся в желтых иглах; им пользуются для выделения индена (при сильном охлаждении) из каменноугольного дегтя и светильного газа. И. может быть получен также и синтетически различными способами; удобнее всего его приготовлять из гидрокоричной кислоты.

Из производных И. наиболее важны: гидринден

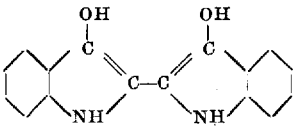


, находящийся также в каменноугольном дегте, синтетически получаемый восстановлением И. натрием в спиртовом растворе; метил- и диметил-инден, находящиеся во фракциях каменноугольного дегтя, кипящих при 220—230°. И. еще не нашел себе технич. применения; его полимеризованный продукт применяется при производстве лаков.

ИНДИГО, синий кубовый краситель, являющийся родоначальником класса индигоидных красящих веществ. И. в чистом виде, называемое индиготином, имеет химическое строение:

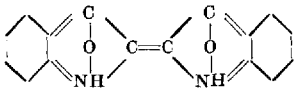


и представляет собой синий кристаллич. порошок, бронзирующий при растирании, нерастворимый в воде, водных к-тах и щелочах, мало растворимый в спирте. И. хорошо растворимо в кипящем анилине, нитробензоле, феноле, нафталине и особенно во фталевом ангидриде, из к-рого кристаллизуется в крупных синих призмах. И. растворяется с сине-зеленым цветом в крепкой серной к-те и при стоянии или нагревании раствора переходит в сульфокислоты И. И. легко восстанавливается в белое И. строения:

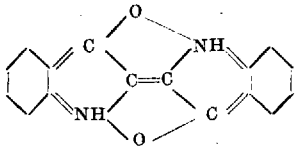


а при действии окислителей переходит в *изатин* (см.). Более подробно физич. и химич. свойства И. см. [1].

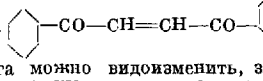
Вышеприведенная структурная ф-ла И., предложенная А. Байером, до сих пор еще не встретила единодушного признания, хотя характерная полухиноннная группировка и легла в основу классификации *индигоидных красящих веществ* (см.). Нек-рые свойства И., гл. обр. его мономолекулярность как в парах, так и в растворе, несмотря на наличие весьма реакциеспособной к галохромным (см. *Галохромия*) присоединениям карбонильной группы, заставили предположить, что в молекуле И. имеют место внутримолекулярные связи между карбонильными и имидными группами. М. Клаш (M. Claasz) [2] предложил для И. ф-лу



к-рая не вполне соответствует нерастворимости И. И. Лифшиц и Г. Лури [3] видоизменили вышеприведенную формулу, приняв галохромную связь за счет остаточных сродств кислорода карбонильной и имидной групп. В. Маделунг [4] для объяснения стойкости молекулы И. предполагает, что в молекуле И. имеется связь между карбонильной и имидной группами разных ядер, обусловливающая образование двух новых циклов, почему он и придает И. строение



с наличием двух ортохиноидных ядер; при этом предположении И. есть производное транс-формы дибензоилэтилена



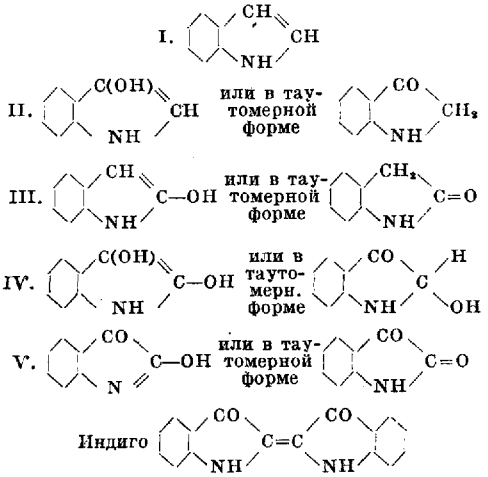
. Формулу В. Маделунга можно видоизменить, заменив связи между карбонильными и имидными группами соответственно галохромным представлениям. Окончательное установление ф-лы строения И. принадлежит будущему.

До конца 19 века И. представляло собой продукт исключительно естественного, растительного происхождения, получавшийся в больших количествах из индигоносных растений (индигоноски, семейства мотыльковых)—Indigofera tinctoria, Isatis tinctoria, Polygonium tinctorium и друг., в зеленых

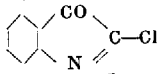
листьях и стеблях к-рых И. находится в виде глюкозида индикана; содержание индикана в стеблях доходит до 0,2%, в листьях—до 0,5%. В виду того, что наиболее богатые И. культуры растений выращивались в тропич. колониях (Ява, Филиппинские острова, Ост-Индия и др.), естественное И. носило также название колониального И. На юге России, а также в средней Германии культивировалось (преимущественно в средние века) индигоносное растение Isatis tinctoria, т. н. вайда [5], но содержание И. в нем было незначительно по сравнению с тропич. культурами, и культура вайды не выдержала конкуренции с колониальным И. Выход И. при получении его из колониальных растений колеблется от 0,1 до 0,4% от веса сырого растения, в зависимости от культуры и условий переработки.

Для выделения И. из содержащегося в листьях и стеблях растений глюкозида свежесрезанные зеленые части растения помещают в специальные ямы, заливают водой и оставляют для брожения. Процесс сбраживания сопровождается усиленным выделением углекислоты и длится 12—24 ч. При этом углевод глюкозида разрушается, и носитель И., по всей вероятности—производное индоксила (см. ниже), переходит в раствор, окрашивая его в желтый цвет. Полученный в бродильных ямах желтый раствор сливают в чаны, где при непрерывном помешивании он окисляется пропусканием воздуха; при этом индоксильное производное окисляется в И., и последнее в виде синих хлопьев выпадает в осадок, к-рый отфильтровывают, промывают, отжимают на прессах и сушат, придавая ему форму, характерную для каждого сорта колониального И. Содержание индиготина в различных сортах колеблется от 90% (в лучших сортах бенгальского И.) до 10—15% (в худших сортах И. из вайды или И. эквадорского) [6]. Из примесей естественного И. следует отметить частицы древесины, попадающие при брожении, различные фальсифицирующие и наполняющие вещества, а также и получаемые вместе с И. красящие вещества, из к-рых главным является индигорубин, или индирубин (см. *Индигоидные красящие вещества*). Качество естественного И. определяется либо пробными выкрасками либо чисто химич. путем [7]. Применение естественного И., начавшееся в древнеисторич. времена, продолжается до наших дней, и лишь победоносное развитие производства искусственного И. в начале 20 в. сильно повлияло на уменьшение потребления и производства естественного И. В 1900 г. мировая продукция естественного И. оценивалась в 40 млн. р. при цене его от 2 до 10 р. за *кг*.

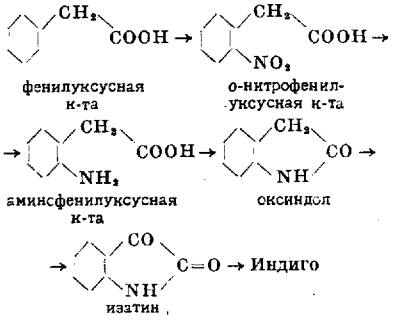
Громадное потребление естественного И. поставило перед химией задачу изыскать пути синтетич. получения И. Этой задаче должна была предшествовать другая—изучение и установление строения И. Честь разрешения обеих задач принадлежит Адольфу Байеру [8]. Исходным продуктом первых работ Байера был изатин; при перегонке изатина с цинковой пылью при высокой $t°$, Байер получил в 1868 г. новое вещество, названное им индолом (I), к-рое он назвал «основным веществом» («Muttersubstanz») И. Вслед за этим Байер в ряде работ получил и исследовал различные производные индола, к которым он отнес и И. Т. о. были получены: оксиндол (III) и диоксиндол (IV), исследованы: изатин (V) и изомерный с оксиндолом индоксил (II), единственное соединение, к-рое, в отличие от всех остальных кислородных производных индола, при окислительном действии кислорода воздуха переходит в И. Т. о. была доказана генетич. связь И. с индолом и было предположительно указано строение И., что выражается в следующей таблице:



В 1870 г. Байеру удалось воспроизвести обратный процесс получения И. из изатина. Хотя И. при окислении легко переходит в изатин, но обратный процесс не протекает при непосредственном восстановлении изатина. Лишь действие пятихлористого фосфора переводит изатин в изатинхлорид

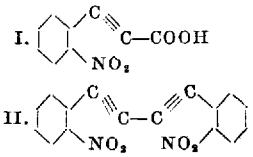


к-рый при действии слабых восстановителей, как сернистый аммоний, переходит в И. Этот процесс нельзя еще считать синтезом И., т. к. исходный продукт—изатин—до тех пор являлся продуктом индигового происхождения. В виду этого усилия Байера и его школы были направлены к получению изатина из продуктов неиндигового происхождения. Эта задача была разрешена Байером (1878 г.), и т. о. был произведен первый истинный синтез И. по следующей схеме:

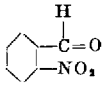


Первый синтез И. не мог иметь производст-

венного значения, т. к. исходные продукты обходились дорого и выход был незначителен. В 1880 г. Байером был предложен новый синтез И., где исходным продуктом являлись производные фенилацетилена: *о*-нитрофенилпропиоловая к-та (I) или *о*-динитродифенилдиацетилен (II).



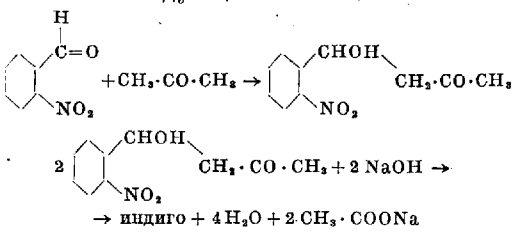
В 1882 г. Байер совместно с Древсеном предложил новый, не потерявший своего значения и в наше время синтез И., в к-ром исходным продуктом был *о*-нитробензальдегид



Исчерпывающая литература по всем вопросам, касающимся И., указана в [9].

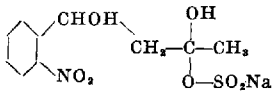
Число синтезов, разработанных и предложенных для получения искусственного И., исчисляется многими десятками. Из них производственное значение имеют лишь следующие: 1) нитробензальдегидный (А. Байера и Древсена), 2) фенилглициновый К. Геймана, 3) антраниловый К. Геймана, 4) хлоргидриновый BASF и 5) изатиновый Т. Зандмейера.

1. Нитробензальдегидный способ Байера и Древсена является одним из наиболее изящных синтезов не только в области И., но в органич. химии вообще. Он заключается в конденсации *о*-нитробензальдегида с ацетоном и обработке получившегося нитрофениллактометилкетона молекулярным количеством едкой щелочи и протекает по следующей схеме:



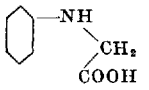
→ индиго + 4 H_2O + 2 $CH_3 \cdot COONa$

Для успешного проведения этого синтеза необходимо употреблять строго теоретич. количества реагентов, и тогда И. количественно выпадает из раствора в виде мелких синих кристаллов [10]. Несмотря на количественный выход, на несложную аппаратуру, на легкость процесса нитробензальдегидный синтез не нашел до сих пор широкого применения; им пользуются преимущественно для получения не И., а его производных. Причиной этого является неудовлетворительный выход получения самого *о*-нитробензальдегида: при непосредственном нитровании бензальдегида лишь 20% падает на долю *о*-продукта, из остальных 80% получается *м*-производное, не имеющее широкого применения. Целый ряд обходных путей, заключающихся в окислении *о*-нитробензилхлорида или даже *о*-нитротолуола, не привели еще к вполне удовлетворительным результатам [11]. Лишь недорогой *о*-нитробензальдегид мог бы поставить синтез Байера и Древсена вне конкуренции. Несмотря на это, попытка применения этого синтеза была сделана в 1893 г. фирмой Калле в Бибрихе на Рейне [12], к-рая выпустила на рынок растворимый в воде препарат И., названный ею индиговой солью (Indigosalz) и представлявший собою бисульфитное производное продукта конденсации *о*-нитробензальдегида с ацетоном, строения:



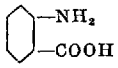
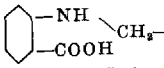
При действии щелочи, одновременно с разрушением бисульфитного производного, отщеплялась и уксусная кислота с образованием И. Первое время индиговая соль нашла применение для печатания, но была вытеснена гидросульфитом, как более дешевым и удобным препаратом.

2. Фенилглициновый синтез К. Геймана построен на совершенно ином принципе. Индоксил, в отличие от иных кислородных производных индола, дает при окислении кислородом воздуха индиго. Целью работ К. Геймана было получение индоксила. Исходным продуктом при этом синтезе был фенилглицин, фенилгликоколь

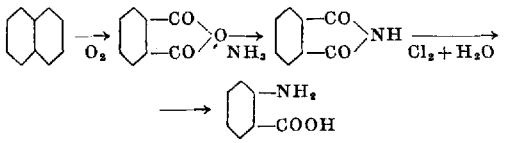


получаемый весьма легко при конденсации хлоруксусной к-ты с анилином в присутствии щелочи или избытка анилина в водном растворе; конденсация протекает почти количественно; при сплавлении фенилглицина с едкими щелочами при 300° происходит замыкание индолового кольца, и получается индоксил, к-рый легко переходит в И. Недостатком фенилглицинового синтеза является недостаточно большой выход, не превышавший 60% теоретич. количества. Причина этого явления—высокая $t°_{пл.}$, при к-рой часть фенилглицина разлагается, не успев замкнуться в индоксил. В начале 20 в. было обнаружено, что амид натрия $NaNH_2$ обладает способностью вызывать замыкание индолового кольца (сопровождающееся выделением частицы воды) при значительно более низкой $t°$ (190—210°); вследствие этого выход И. при применении амида натрия значительно поднялся и достиг 90—94% теоретического. В настоящее время фенилглициновый синтез ведется на производстве следующим образом. Заранее приготовляется сухая соль фенилглицина, преимущественно натриевая. Сухость продукта играет весьма большую роль, т. к. следы влаги понижают выход И. Амид натрия, необходимый для процесса, м. б. также приготовлен заранее или же приготовляется в самом плавильном котле. На ф-ках Meister, Lucius & Brüning щелочное плавление фенилглицина ведется в котле, снабженном мощной мешалкой. В котел загружают 1 000 *кг* едкого натра и 1 000 *кг* едкого кали и в расплавленную обезвоженную нагреванием смесь вносят при

350° 10 *кг* металлич. натрия. Предварительно котел заполняют сухим водородом и аммиачным газом. При этом от взаимодействия натрия с едким натром и аммиаком получается окись и амид натрия: Na_2O и $NaNH_2$. После того как весь металлич. натрий вступит в реакцию, понижают $t°$ до 190° и вносят в котел сухую натриевую соль фенилглицина в количестве от $^1/_3$ до $^1/_4$ от веса взятых щелочей. Металлич. натрий берут в таком количестве, чтобы получившиеся из него амид и окись натрия связали всю воду. После загрузки фенилглицина поднимают $t°$ до 210° и выдерживают при ней ок. 3 ч., после чего получают в котле однородную красно-коричневую массу. Последнюю выдавливают в такое количество льда и воды, чтобы $t°$ смеси была 50°. При этом получается раствор индоксилнатриевой соли, из которого продуванием воздуха осаждается И. Полученный краситель отфильтровывают, промывают и либо сушат, либо ставят на тип для получения пасты красителя определенной концентрации; фильтрат же выпаривают наполовину, после чего из него выпадают образовавшиеся от поглощения углекислого газа карбонаты, и, отделив от них, подвергают его выпариванию в вакууме для регенерации щелочей. При подобном ведении процесса выход И. достигает 90—94% теоретического. Другим вариантом этого процесса является проведение его при давлении от 4 до 6 *atm* и применение иных конденсирующих средств как, напр., анилида натрия, на что имеется ряд патентов. Фенилглициновый способ оказывается в последней модификации вполне удовлетворительным, и недостатком его является лишь необходимость применения дорого стоящих продуктов (хлоруксусной к-ты и металлич. натрия).

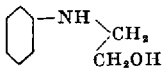
3. Антраниловый синтез К. Геймана отличается от предыдущего лишь заменой анилина антраниловой к-той, строения . При этом конденсация с хлоруксусной к-той дает не фенилглицин, а его карбоновую к-ту, строения .

Последняя при действии щелочей (для чего требуется более умеренная $t°$) дает индоксилкарбоновую (индоксиловую) к-ту, к-рая, как и индоксил, переходит при действии кислорода воздуха в И. Получение фенилглицинкарбоновой к-ты и щелочное плавление протекают аналогично фенилглициновому синтезу, но более низкая $t°$ плавления делает необязательным применение амида натрия. Для лучшего течения процесса плавления прибавляют в плаве к щелочам некоторое количество жженой извести CaO. Антраниловый способ К. Геймана разрабатывался и был поставлен на BASF. По сравнению с фенилглициновым способом он имеет преимущество в пользовании CaO вместо амида натрия; кроме того, имеется возможность, не окисляя в И., выделить индоксиловую к-ту, к-рая под названием индофора поступала в продажу как препарат И. для печати. Технически этот метод стал осуществимым, лишь когда ряд открытий дал возможность рентабельно получать антраниловую к-ту из нафталина, окисляя последний в присутствии ртути каталитическим действием серного ангидрида до фталевого ангидрида, путем переведения последнего во фталевый имид, к-рый, окисляясь, перегруппировывался в антраниловую кислоту при действии теоретического количества активного хлора. Весь процесс выражается схемой:



Введенный Гиббсом и Волем метод окисления нафталина во фталевый ангидрид кислородом воздуха при каталитич. действии ванадиевых солей сделал получение антраниловой к-ты еще более дешевым, т. к. нафталин—полуфабрикат весьма доступный. Существенными недостатками обоих синтезов К. Геймана являются необходимость применения хлоруксусной к-ты, к-рая получается хлорированием дорогой ледяной уксусной к-ты, а также и необходимость разделения моно-, ди- и трихлорпроизводных. В виду этого еще в 1912 г. на BASF был применен хлоргидриновый синтез.

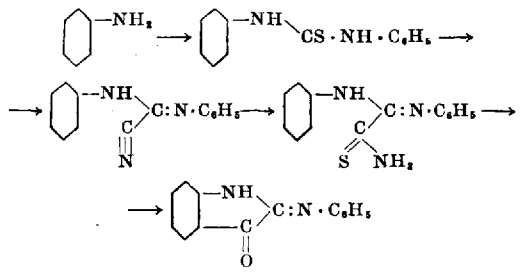
4. Хлоргидриновый синтез заключается в конденсации хлоргидрина с анилином и в щелочном плавлении получившегося при этом оксиэтиланилина следующего строения:



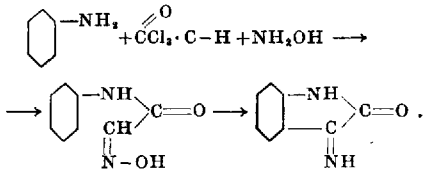
При этом получается индоксил, обрабатываемый обычн. методом. Т. о., хлоргидриновый синтез является нек-рым видоизменением фенилглицинового синтеза К. Геймана. Синтез выполняется след. обр. Предварительно приготовляется хлоргидрин пропусканием смеси этилена с углекислым газом через белильную известь до полного использования хлора. Затем хлоргидрин отделяют от углекислого кальция и очищают перегонкой. Полученный хлоргидрин количественно конденсируется с анилином обычным методом, после чего получается маслянистая жидкость—оксиэтиланилин, к-рую пускают на плавление. Для этого 2 ч. едкого натра с 1 ч. едкого кали плавят в закрытом котле при 350° и к плаву добавляют $^1/_2$ ч. мелко измельченной окиси кальция. Темп-ру понижают до 232—236°, наполняют котел водородом и передавливают в него $^1/_2$ ч. оксиэтиланилина, после чего при 240—245° ведут процесс при размешивании в продолжение еще 2—3 часов. При этом из котла энергично выделяется водород, и содержимое котла превращается в однородную массу, к-рую обрабатывают так же, как и при фенилглициновом синтезе К. Геймана. В виду загрузки оксиэтиланилина в закрытый котел содержание карбонатов достигает лишь 0,5%, вследствие чего удается регенерировать 98% от взятой щелочи. Выход И. при хлоргидриновом синтезе не превышает 60—65%, но, несмотря на

это, он должен считаться рентабельным благодаря почти полной регенерации щелочи вследствие применения этилена вместо уксусной к-ты и в силу своей близости к производству иприта: хлоргидрин получается из того же исходного продукта (этилена) и в той же аппаратуре, что и иприт. Для того чтобы не применять уксусной к-ты, на некоторых производствах, особенно в Америке, приготовляют фенилглицин из анилина, цианистого калия и формалина.

5. Изатиновый синтез Т. Зандмейера (ф-ка Geigy в Базеле)—в к-ром конечным продуктом является изатин, в виде α-изатинанилида или β-изатинимида; этот метод заключается в конденсации анилина с сероуглеродом и в действии цианистого калия в присутствии свинцовых солей на получившийся тиокарбанилид, при чем получается карбоциандифенилимид. Последний при действии сернистого аммония переходит в т. н. тиоамид, к-рый в свою очередь легко переходит в α-изатинанилид, что выражается общей схемой:

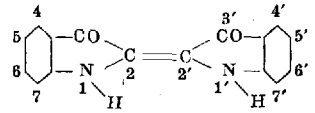


Проведение этого синтеза см. [13]. Несколько позже, в 1919 г., тот же Т. Зандмейер применил для получения производных изатина, именно β-изатинимида, иной метод, исходя из того же анилина, но конденсируя его с хлоралем и гидроксиламином по схеме:



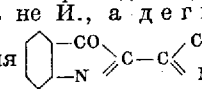
При действии восстановителей, напр. сернистого аммония, α-изатинанилид легко дает И. При действии же разбавленных кислот на α-изатинанилид и на β-изатинимид получается изатин. Синтез Зандмейера в настоящее время не имеет большого значения для получения И., но его роль велика в производстве различных тиоиндиговых и индигоидных красителей, где для нек-рых марок в качестве исходного продукта употребляют изатин и α-изатинанилид, который в отличие от изатина является реакциеспособным в α-положении и поэтому находит в производстве индигоидов большее применение, чем изатин. К тому же изатин выгоднее получать из α-изатинанилида или из β-изатинимида, чем из И. В силу этого синтез Зандмейера утвердился в технике.

Кроме И., большое применение находит и целый ряд его производных: алкильные производные, сульфокислоты и галоидные производные. Из алкильных производных наиболее важным является метильное производное, именно 7,7′-диметилиндиго, или индиго Т (для правильного определения производных индиго его скелет перенумерован следующим образом:



и перед названием замещающего радикала ставят № занимаемого им места). Индиго Т получают по методу Байера и Древсена, исходя из o-нитро-$м$-толилальдегида, или по методу Зандмейера—из o-толуидина. Индиго Т дает более зеленые оттенки, чем И., и отличается большой прочностью к хлору.

Сульфопроизводные И., из к-рых наиболее важным является индиго-кармин (5, 5′-дисульфокислота И.), применяемый в качестве индикатора при хлорометрии, не имеют, вследствие своей непрочности, большого распространения. Они являются кислотными красителями, дающими чисто синие тона. Часто их получают для аналитического исследования И., заключающегося в переведении И. в растворимое состояние и титровании раствором гидросульфита [7]. Они получаются при внесении мелко истертого И. в нагретый до 35—40° моногидрат серной кислоты и выдерживании при этой $t°$ до полного растворения в растворе водной щелочи. В продажу индиго-кармин поступает в виде натриевой соли.

Наибольшее распространение имеют галоидопроизводные И., особенно хлоро- или бромопроизводные. Их получают хлорированием и бромированием готового И. или синтезом красителя, исходя из содержащих галоиды исходных продуктов. Наибольшее распространение имеет 5, 7, 5′, 7′-тетраброминдиго, называемый индиго 4В и получаемый при обработке И. бромом в нагретом растворе нейтрального растворителя (нитробензола и т. п.). При употреблении в качестве растворителя ледяной уксусной кислоты получается 5,5′-диброминдиго, или индиго R; 6, 6′-диброминдиго представляет собой знаменитый пурпур древних, получавшийся из улиток Murex brandaris; он был получен в 1908 г. П. Фридлендером по методу Байера и Древсена из n-бром-o-нитробензальдегида. Непосредственное хлорирование И. не дает хлоропроизводных, т. к. хлор действует на И. окисляющим образом. Для получения ценного бриллиантиндиго, или яркого И., являющегося 5, 7, 5′, 7′-тетрахлориндиго, приходится хлорировать не И., а дегидроиндиго, строения , легко хлорируемое в обоих ядрах в положении 5 и 7, получаемое из И. по методу Кальба, действием перекиси свинца или марганцовокалиевой соли в отсутствии влаги. Дегидроиндиго и его продукты замещения при действии сернистой к-ты переходят в И. и его производные. Для получения хлоропроизводных И. применимы и синтезы Геймана, а также и Байера-Древсена. Галоидопроиз-

водные И., за исключением замещенных в положении 6, дают некоторое изменение тона и продаются под названием И. различных марок [14]. Они отличаются повышенной по сравнению с И. прочностью к хлору. Кроме того, их лейкосоединения имеют больше сродства к волокну, являются более субстантивными.

Производство И., развивавшееся до 1914 г. в Германии, существует в настоящее время и во Франции, Англии и Америке. Синтетич. И. занимает первое место среди остальных красящих веществ. В 1922 г. из выпущенных на земном шаре на рынок 150 млн. *кг* синтетич. красителей на сумму 88 млн. долл. 28% падало на долю И. Производство И. началось в 1880 году в Германии, когда на рынок было выпущено ок. $^1/_2$ млн. *кг*, и непрерывно возрастало в этой стране, достигнув в 1913 г. 33 млн. *кг*. Кроме Германии, до войны 1914—18 гг. индиго производилось (с 1911 года) лишь в Швейцарии в количестве около 1,8 млн. *кг*. Обе эти страны снабжали синтетическим индиго все страны света, при чем главными потребителями были:

Китай, импортировавший	21,5	млн. *кг*
С. Ш. А., импортировавшие	3,5	» »
Австро-Венгрия, импортировавшая	1,4	» »
Англия, импортировавшая	1,2	» »
Россия, »	0,5	» »

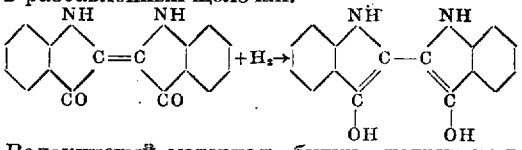
Война 1914—18 гг. поставила ряд стран, получавших И. из Германии, в катастрофич. положение. В С. Ш. А. цена И. возросла с 15,5 центов за англ. фн. в 1913 г. до 1,5 долл. в 1916 году, что побудило С. Ш. А. поставить собственное производство И., которое в 1925 году достигло 29 млн. англ. фн. (ок. 13 млн. *кг* И.). Во Франции производство И., начатое во время войны, достигло в 1925 г. 5 млн. *кг*. В Англии производство И. началось с 1922 года и достигло к 1925 году 4,5 млн. *кг*. В Италии $^2/_3$ потребности страны в И. покрывается собственной продукцией.

Лит.: [1]) Beilstein F. K., Handbuch der organischen Chemie, B. 1—11, 4 Aufl., B., 1918—28; Schultz G., Farbstofftabellen, 5 Aufl., Berlin, 1911—14; Rowe F., Colour Index, N. Y., 1924; Mayer F., Chemie d. organ. Farbstoffe, 2 Auflage, B., 1924; [2]) «B», 1918, B. 51, p. 516; [3]) ibid., 1917, B. 50, p. 897; [4]) «Z. ang. Chem.», 1921, B. 34, p. 481; [5]) Rupe H., Die Chemie d. natürlichen Farbstoffe, Brschw., 1900; [6]) Georgievics G., Der Indigo, Wien, 1892; [7]) Heermann P., Färberei- u. textilchemische Untersuchungen, 4 Aufl., Berlin, 1923; [8]) Bayer A., «B», 1900, B. 33, p. LI—LXXI; Bayer A., Gesammelte Werke, B. 1—Über Indigo, Brschw., 1905; [9]) Truttwin H., Enzyklopädie d. Küpenfarbstoffe, B., 1920; [10]) Шапошников В. Г., Общая технология волокн. и красящих веществ, М.—Киев, 1926; [11]) Fierz-David H., Künstliche organ. Farbstoffe, B., 1926; Georgievics G., Handbuch der Farbenchemie, 5 Auflage, Wien, 1922; Bucherer H., Lehrbuch der Farbenchemie, 2 Auflage, Leipzig, 1921; [12]) Г. П. 73377; [13]) Fierz-David H. E., Grundlegende Operationen der Farbenchemie, 3 Auflage, Berlin, 1924; [14]) Проспекты BASF, MLB, CIBA.

И. Иоффе.

Применение И. в крашении волокнистых материалов.

И. нерастворимо в воде и принадлежит (по технич. классификации) к индифферентным красителям. Для получения окраски И. восстанавливают в щелочной среде при помощи восстановителей; при этом оно переходит в лейкоиндиго—белое индиго, содержащее гидроксильные группы и растворимое в разбавленных щелочах:



Волокнистый материал, будучи погружен в этот раствор, извлекает лейкоиндиго, т. к. последнее обладает нек-рым сродством к волокну. Для закрепления И. волокнистый материал вынимают из красильного раствора, отжимают и подвергают окислению на воздухе; при этом на волокне образуется И., давая довольно прочную окраску синего цвета. Такое погружение с последующим окислением называется проходом. Продолжительность и число проходов бывают различными.

Щелочной раствор восстановленного И., а также аппарат, в к-ром производят крашение, называются индиговым кубом или просто кубом (см. *Кубовые красители*). По $t°$ крашения кубы бывают горячие (50—60°) и холодные (15—25°).

И. применяют для крашения животных волокнистых материалов (гл. обр. шерсти) и растительных (гл. обр. хлопка и льна). Для шерсти применяют горячие кубы (бродильные, гидросульфитный), для хлопка и льна—холодные (купоросный, цинковый, гидросульфитный, бродильные), а иногда и горячие (бродильные). Для растворения лейкоиндиго служат NaOH, $Ca(OH)_2$, K_2CO_3, Na_2CO_3 и NH_4OH. Особенностью И. является то, что оно лучше растворяется в конц. растворах, а окрашивает лучше в разбавленных (краски получаются прочнее); поэтому для растворения И. приготовляют конц. раствор, т. н. матку, а для крашения—более разбавленный красильный куб. Во время крашения И. выбирается волокном, и концентрация в кубе уменьшается; поэтому для выравнивания концентрации необходимо куб «подкармливать», или «чередить», т. е. прибавлять некоторое количество восстановленного И.

Для крашения находит применение И. в порошке, в пасте (20 и 40%-ной) и в виде восстановленного И.—готового 20- или 60%-ного куба. И. в порошке необходимо предварительно превратить в пасту, обрабатывая его смачивающими веществами: ализариновым маслом, контактом, некалом и др. (см. *Эмульсаторы*), а также подвергая его механич. растиранию в присутствии глицерина или едкого натра. В последнее время германскими красочными фабриками выпущены марки легко смачивающегося И. (например И. «К» и др.).

Крашение животных волокнистых материалов. И. находит большое применение для крашения шерсти, так как получаемые окраски обладают хорошей прочностью (8—к свету, 4—к мытью, 4—к валке), за исключением прочности к трению (около 3). Для крашения шелка индиго применяется значительно реже. К особенностям крашения шерсти индиго следует отнести применение горячих кубов, слабую щелочность, а также малую концентрацию (1 *г* индиго на *л*). В настоящее время большим распространением пользуются гидросульфитные кубы, а в некоторых случаях—бродильные.

Гидросульфитные индиговые кубы. Образование их основано на восстановительном действии гидросульфита $Na_2S_2O_4$ в присутствии NaOH:

$$C_{16}H_{10}N_2O_2 + Na_2S_2O_4 + 4NaOH \rightarrow C_{16}H_{10}N_2O_2Na_2 + 2Na_2SO_3 + 2H_2O.$$
индиго

Для приготовления матки затирают И. (3 *кг*) с горячей водой (42 *л*) и обрабатывают раствором едкого натра (3,6 *л* при 38—40°Bé). После этого постепенно при 60—65° прибавляют гидросульфит (3 *кг*) и оставляют при этой $t°$ на $^1/_2$—1 час. При этом И. переходит в куб с янтарно-желтым цветом. Полученную матку вливают в красильный куб, содержащий 3 000 *л* воды и небольшое количество гидросульфита и NH_3, для восстановления кислорода, растворенного в воде. Реакция куба д. б. лишь слабо щелочной, при чем для предохранения шерстяного волокна от ослабления прибавляют раствор клея. Хорошо приготовленный куб должен иметь янтарно-желтый цвет и с поверхности покрываться тонкой пленкой И., т. н. цветом. Иногда применяют индиговые кубы 20- и 60%-ные, представляющие конц. растворы лейкоиндиго в щелочах; при этом приготовление матки отпадает, и такие растворы непосредственно задают в красильный куб.

Недавно красочные ф-ки (Баденская и «Фарбверке») запатентовали способ крашения шерсти И. в гидросульфитном кубе, заключающийся в том, что лейкоиндиго переводят на шерстяное волокно при помощи солей аммония (уксуснокислого или сернокислого), а к концу процесса—уксусной к-той; при этом способе даже интенсивные окраски получаются в один проход (ок. $2^1/_2$ час.). Иногда применяют цинково-известково-бисульфитный куб, т. н. английский куб, отличающийся от предыдущих тем, что необходимый для восстановления гидросульфит образуется в красильном кубе из бисульфита натрия и цинковой пыли в присутствии $Ca(OH)_2$:

$$Zn + 4NaHSO_3 \rightarrow ZnSO_3 + Na_2SO_3 + Na_2S_2O_4 + 2H_2O.$$

Под влиянием гидросульфита происходит восстановление И. в лейкоиндиго, растворяющееся в растворе $Ca(OH)_2$. Недостатком этого куба является большое гнездо куба—осадок нерастворимых солей, образующихся в кубе и осаждающихся на дне его. Осадки эти могут поглощать до 20% И.

Бродильные кубы. Эти старинные кубы основаны на восстановительном действии водорода, получаемого при брожении нек-рых сахарсодержащих веществ (отрубей, вайды, патоки и др.) под действием энзимов, находящихся в этих же веществах. Брожение сопровождается образованием к-т—масляной, уксусной, CO_2 и др.:

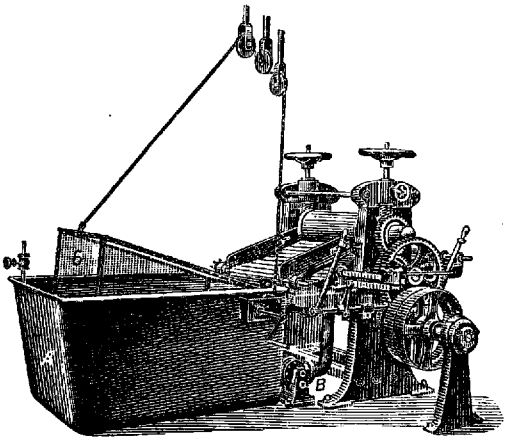
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_4H_8O_2 + 2CO_2 + 2H_2$$

или

$$C_6H_{12}O_6 + 2O_2 \rightarrow C_2H_4O_2 + 4CO_2 + 4H_2.$$

Для возбуждения брожения иногда прибавляют крап—молотые корни марены. Для растворения лейкоиндиго применяют гашеную известь, соду, поташ. В зависимости от применяемых материалов различают кубы: вайдовый, содовый, поташный, мочевой; из них наиболее распространены вайдовый и содовый кубы. Ведение бродильных кубов требует большого опыта и является затруднительным; к недостаткам их следует отнести, кроме того, продолжительность приготовления куба (до 4 дней), а также образование большого гнезда.

Крашение шерсти в гидросульфитных и бродильных кубах производится при $t°$ 50—55°, в течение $^1/_2$—$2^1/_2$ час., при чем после окончания одного прохода шерсть вынимают и, дав раствору стечь, отжимают ее и окисляют на воздухе до посинения (если нужно, эту операцию повторяют несколько раз). В заключение шерсть промывают, кислуют и опять промывают. Шерсть окрашивают И. в виде непряденого материала (рунной шерсти), камвольной ленты (топса), пряжи (в мотках и крестовых шпулях) и ткани. Рунную шерсть красят в обыкновенных круглых деревянных или цементированных чанах, куда опускают шерсть в железных сетчатых цилиндрах (корзинах), или же в т. н. циркуляционном кубе (фиг. 1), состоящем из железного чана *A* и ситчатого



Фиг. 1.

ящика *Б*, в к-рый загружают шерсть; в этом аппарате при крашении шерсть остается неподвижной, а красильный раствор циркулирует при помощи насоса *B*; пряжу в мотках обыкновенно окрашивают в ручных барках, а пряжу в виде крестовых шпуль и камвольную ленту—в аппаратах насадочной системы (см. *Красильные машины*). Шерстяную ткань окрашивают в расправку в кубах, имеющих направляющие ролики и отжимные валы под уровнем красильного раствора.

Крашение растительных волокнистых материалов. В настоящее время, с появлением более прочных кубовых синих красителей (индантренов, альголевых, гидроновых, гелиндоновых), а также дешевых сернистых синих красителей, И. для крашения растительных волокнистых материалов, гл. обр. хлопка и льна, стало применяться в меньших размерах, чем раньше. Прочность окрасок на этих материалах меньше, чем на шерсти (3—к свету, 1—к трению). Особенностью крашения И. хлопка и льна является большая щелочность куба, повышенная концентрация ($2^1/_2$—5 *г* в 1 *л*) и низкая $t°$ крашения (15—25°), за исключением бродильных кубов, у к-рых $t°$ крашения 50°. Для крашения хлопка и льна применяют холодные кубы

(купоросный, цинковый, гидросульфитный, бродильные) и горячие (бродильные).

Купоросный куб. В этом кубе железный купорос в присутствии $Ca(OH)_2$ образует $Fe(OH)_2$, к-рый восстанавливает И. в лейкоиндиго, растворяющееся в растворе $Ca(OH)_2$:

$$2\,FeSO_4 + 2\,Ca(OH)_2 \rightarrow 2\,Fe(OH)_2 + 2\,CaSO_4;$$
$$2\,Fe(OH)_2 + C_{16}H_{10}N_2O_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow$$
$$\rightarrow C_{16}H_{10}N_2O_2Ca + 2\,Fe(OH)_3.$$

Для приготовления матки И. (в виде 20%-ной пасты) растирают с горячей водой при 60°, прибавляют железный купорос и гашеную известь. После 4—6-час. стояния при 50—60° И. восстанавливается. Полученную матку вливают в красильный куб и приступают к крашению. Недостатком этого куба является большое гнездо, поглощающее до 20% И., а также необходимость кисловки хлопка и льна после выхода из куба для разрушения Са-соли лейкоиндиго и для удаления с ткани гидрата окиси железа.

Цинковый куб. В этом кубе цинковая пыль, растертая с водой в присутствии гашеной извести, выделяет водород, к-рый восстанавливает И. в лейкоиндиго, растворяющееся в растворе $Ca(OH)_2$:

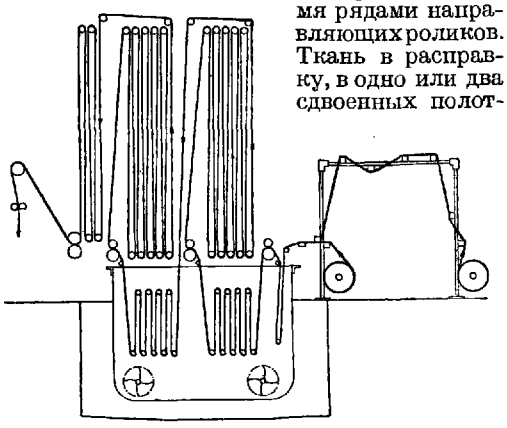
$$Zn + Ca(OH)_2 + C_{16}H_{10}N_2O_2 \rightarrow C_{16}H_{10}N_2O_2Ca + Zn(OH)_2.$$

Для приготовления матки И. (в виде 20%-ной пасты) смешивают с цинковой пылью (предварительно замешенной с горячей водой) и при 50—60° прибавляют гашеную известь (в виде известкового молока). После 5—6 час. стояния И. куб готов, и его вливают в красильный куб. Цинковый куб имеет, по сравнению с купоросным, меньшее гнездо, но потери И. все же достигают здесь 10%.

Гидросульфитный куб. Этот куб в настоящее время наиболее распространен, так как не имеет недостатков предыдущих кубов. Для восстановления И. применяют гидросульфит в готовом виде, в порошке, или же красильщик сам его готовит из цинковой пыли и бисульфита натрия в присутствии $Ca(OH)_2$ (см. выше). Для приготовления матки берут, напр., И. в виде 20%-ной пасты (50 *кг*), прибавляют горячей воды (100 *л*) и едкого натра (20 *л*, плотностью 40° Bé) и при 50—60° задают при постоянном помешивании гидросульфит в порошке (8,5 *кг*) или соответствующее количество самостоятельно приготовленного раствора гидросульфита. По истечении $^1/_2$—1 часа куб готов, и его вливают в красильный куб. Гидросульфитный куб несколько дороже предыдущих, но имеет ряд преимуществ (простота и быстрота работы, отсутствие кисловки, отсутствие гнезда и др.).

Бродильные кубы в общем похожи на кубы для крашения шерсти, но отличаются от них большей щелочностью, большей концентрацией И. в красильном кубе и тем, что бывают как горячими, так и холодными.

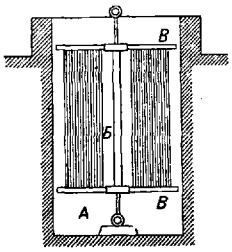
Крашение хлопка и льна в перечисленных кубах (купоросном, цинковом, гидросульфитном и бродильных) производят при $t°$ ок. 15—25°, продолжительность одного погружения (прохода)—от $^1/_2$ до 5 мин.; затем следуют отжим и окисление на воздухе в течение 1—10 мин. В случае необходимости получить более интенсивную окраску операции эти повторяют несколько раз. После крашения происходят промывка и кисловка (за исключением гидросульфитного куба), снова промывка и сушка. Хлопок окрашивают И. в виде непряденого материала, пряжи в мотках (редко в виде крестовых шпуль), а гл. обр. в виде тканей. Для крашения непряденого хлопка применяют механич. аппараты упаковочной системы, для крашения пряжи в мотках—либо ручные барки с изогнутыми железными палками, позволяющими держать пряжу под уровнем красильного раствора, либо непрерывно действующие аппараты (системы Планелла). Пряжу в виде крестовых шпуль окрашивают в аппаратах насадочной системы. Ткани окрашивают в кубах непрерывного или периодич. действия. Непрерывно действующий куб (системы Вельтера), называемый также рулетным кубом (фиг. 2), состоит из большого железного или цементированного бассейна, в к-ром имеются две вынимающиеся каретки с двумя рядами направляющих роликов. Ткань в расправку, в одно или два сдвоенных полотна, входит в первую половину куба, где, проходя по роликам, пропитывается раствором лейкоиндиго, затем выходит из куба, отжимается парой отжимных валов и подвергается окислению на воздухе, делая несколько оборотов в вертикальном направлении по роликам, расположенным над кубом. После этого ткань поступает во вторую половину куба, проходит в нем по роликам, отжимается и таким же образом, как раньше, окисляется; затем с помощью самоклада ткань укладывается в тележку. Продолжительность пребывания в кубе (прохода) и окисления—$1^1/_2$—$2^1/_2$ минуты. Количество погружений бывает разным в зависимости от требуемой интенсивности окраски. Обычно пропускают ткань два раза через один куб или через два рядом стоящих куба. На дне куба расположены мешалки для перемешивания раствора во время «подкармливания», заправки и т. д.



Фиг. 2.

При небольшой производительности применяют куб периодич. действия, представляющий (фиг. 3) глубокий круглый деревянный или цементированный чан *A*, наполненный красильным раствором. В этот чан опускают каретку *Б* с тканью. Каретка представляет вертикальный деревянный или железный стержень, на концах к-рого укреплены звездчатые деревянные или железные бруски *B*; на внутренней стороне этих брусков

укреплены крючки, на которые завешивают кромками ткань по спирали, начиная от стержня. Количество завешиваемой ткани доходит до трех кусков. Каретка с тканью находится в кубе около 5 мин.; после этого ее вынимают, дают раствору стечь в течение 5 мин. и опять опускают в куб, но уже другим концом (для получения равномерной окраски). Операции эти повторяют несколько раз (до 10), до получения требуемой окраски. Ткань после крашения в кубах поступает на проходные аппараты, где в расправку подвергается кисловке соляной или серной (если имеем дело с Са-солями лейкоиндиго) кислотами и промывке водой.



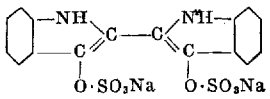
Фиг. 3.

Применение И. в печатании волокнистых материалов. Наибольшее применение И. находит в печатании хл.-бум. тканей. Печатание И. шерстяных и шелковых тканей производится лишь в редких случаях. Непосредственное печатание И. на хлопке в настоящее время производят по т. н. гидросульфитному способу: И. в виде пасты смешивают с раствором едкого натра и формальдегидсульфоксилатами натрия (ронгалитом С, гидросульфитом NF, концентрированными в порошке) и загущают загусткой (напр. из британской камеди); полученной печатной краской печатают по хл.-бум. ткани, затем ткань высушивают и подвергают короткому запариванию в *зрельнике* (см.) при $t°$ ок. 100—105° в течение 2—5 мин. При этом под влиянием влажного горячего пара и формальдегидсульфоксилатов происходит восстановление И. в лейкоиндиго, растворение его в едком натре и поглощение хлопковым волокном. Для закрепления И. ткань после выхода из зрельника подвергают окислению раствором хромпика, после чего ее промывают, мылуют, еще раз промывают и высушивают. Все эти операции после выхода ткани из зрельника производят на проходных аппаратах. Узоры, белые и цветные, на индиговом фоне получают при помощи *вытравок* (см.) и резервов.

Лит.: Шапошников В. Г., Общ. технология волокн. и красящих веществ, стр. 449—462, М.—Киев, 1926; Петров П., Викторов П., Малютин Н., Химич. технология волокн. веществ, стр. 280—304, Ив.-Вознесенск, 1928; Loewenthal A., Handbuch d. Färberei d. Spinnfasern, B. 2, p. 1042—1076, B., 1923. **Д. Грибоедов.**

ИНДИГОВЫЙ КУБ, щелочной раствор восстановленного индиго, а также аппарат, в котором производят крашение. См. *Индиго*, применение в крашении, и *Кубовые красители*.

ИНДИГОЗОЛЬ, растворимый в воде препарат *кубового красителя* (см.), обыкновенно натриевая соль сернистокислого эфира лейкосоединения красителя. Впервые И. был получен в 1924 г. Бадером и Ш. Вошером [1] при действии пиридиновой соли хлорсульфоновой кислоты на натриевую соль *белого индиго* (см.) в пиридиновом растворе и при последующем вытеснении из продукта конденсации пиридинового остатка молекулярным количеством едкого натра [2]. Полученный препарат индиго имеет строение

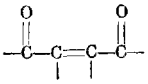


и назван Бадером индигозолем. В 1925 г. фирма Durand et Huguenin [3] применила метод Бадера к целому ряду кубовых красителей, как индигоидных, так и индантреновых. Полученные препараты этих кубовых красителей получили тоже наименование И. с прибавлением лишь заглавной буквы названия кубового красителя и его марки.

Применение И. в текстильном деле основано на омылении И. с отщеплением частицы бисульфита натрия и на последующем окислении свободного лейкосоединения красителя. Омыление И. происходит весьма легко в кислой среде, окисление же м. б. произведено за счет кислорода воздуха при каталитич. действии ванадиевых солей, а также при действии азотистой к-ты, хлорного железа и других несильных окислителей. И. в виду его растворимости очень удобен для крашения и печати [2,4]. И. применим также и для крашения животных волокон, т. к. извлекается из красильной ванны подобно кислотному красителю, а затем омыляется и окисляется на волокне. При этом отпадает недопустимая для животных волокон щелочная среда, сильно препятствовавшая применению кубовых красителей в крашении шерсти и шелка. Высокая цена И. (почти вчетверо дороже соответствующего кубового красителя) препятствует широкому применению И. в текстильном деле, но в ситцепечатании И. завоевывает все большее применение.

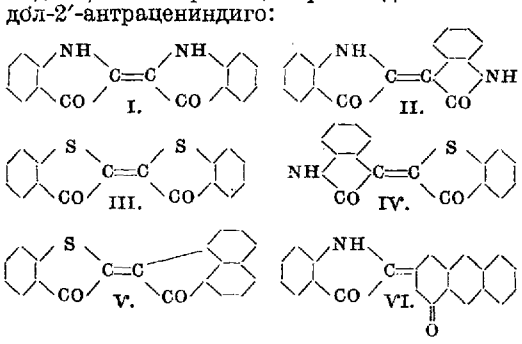
Лит.: [1]) Chemische Industrie, B., 1924; [2]) Шапошников В. Г., Общая технология волокнист. и красящих веществ, М.—Киев, 1926; [3]) Friedlaender P., Fortschritte d. Teerfarbenfabrikation u. verwandter Industriezweige, T. 14, 15, Berlin, 1926—28; [4]) Проспекты I. G. Farben. **И. Иоффе.**

ИНДИГОИДНЫЕ КРАСЯЩИЕ ВЕЩЕСТВА, индигоиды, *кубовые красители* (см.), отличающиеся наличием в них двух соединенных двойной связью между углеродными атомами ядер, в каждом из которых расположено по одной карбонильной группе в *о*-положении к двойной связи; это обусловливает образование характерной для И. к. в. полухинонной группировки:



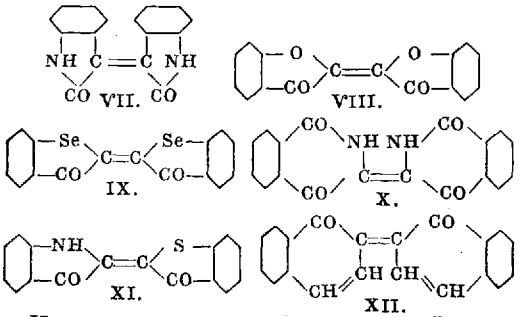
Близкими к И. к. в. являются лигноны, в к-рых обе карбонильные группы расположены в *п*-положении к двойной связи, и индолигноны, в к-рых одна карбонильная группа находится в *о*-положении, другая же в *п*-положении. И. к. в. выпускают в продажу различных цветов и марок под названиями: тиоиндиго, циба, гелиндоны и др. Более правильной является рациональная номенклатура, основанная на тех родоначальных ядрах, из к-рых составлена молекула И. к. в. При этом в ядрах перенумерованы атомы, составляющие их скелет, чем пользуются как для обозначения атомов, примыкающих к двойной связи, так и всех возможных замещений в ядре. В силу этого рациональным обозначением для индиго (I)—

родоначальника группы И. к. в.—является 2, 2′-bis-индолиндиго; для изомерного с ним индиго красного, или индирубина (II),— 2, 3′-bis-индолиндиго; для тиоиндиго красного (III), содержащего два тионафтеновых ядра, соединенных в положении 2 и 2′,— 2,2′-bis-тионафтениндиго. Смешанные И. к. в., как тиоиндиго алый R (IV), циба алый G (V) и ализарининдиго G (VI) соответственно могут быть названы 3-индол-2′-тионафтениндиго, 2-тионафтенаценафтениндиго и 2-индол-2′-антраценинидиго:



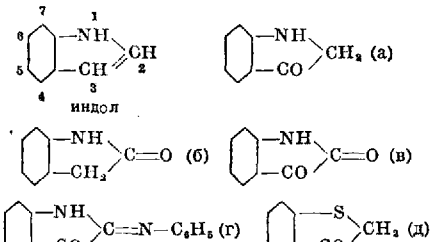
В основе рациональной номенклатуры лежат не кислородные производные, из к-рых И. к. в. получаются (как индоксил, изатин, окситионафтен, аценафтенхинон, оксантрол и т. п.), а соответствующие им углеводороды, т. к. уже само название И. к. в. обусловливает наличие двух кислородных атомов, входящих в состав карбонильных групп. Рациональная номенклатура И. к. в. не нашла еще широкого применения в технике и торговле.

По химич. строению И. к. в. могут быть разбиты на следующие группы: 1) И. к. в., содержащие два ядра с наличием в каждом из них пятичленного гетероцикла, 2) содержащие лишь одно ядро с наличием в нем пятичленного гетероцикла и 3) не содержащие пятичленных гетероциклич. ядер. Первые из них могут представлять симметричную молекулу, как 2,2′-bis-индолиндиго (I), 2,2′-bis-тионафтениндиго (III), 3,3′-bis-индолиндиго (VII), 2, 2′-bis-кумараниндиго (VIII) и так называемого селениндиго (IX). Из них техническое значение имеют лишь индиго и тиоиндиго красный. Остальные, равно как и близкое к ним по строению, но не содержащее пятичленных колец карбиндиго (X), имеют лишь теоретическ. интерес.



Несимметричные индигоиды первой группы представляют преимущественно сочетания в различных положениях индолового и тионафтенового ядра. Из них технически важны два: 3-индол-2′-тионафтениндиго (IV) и 2-индол-2′-тионафтениндиго (XI). Индирубин (II) интересен лишь в качестве И. к. в., сопутствующего индиго при его получении из индигоносных растений. Весьма большой отдел И. к. в. составляют красители, получаемые при сочетании ядер, содержащих пятичленный гетероцикл, гл. обр. индоловый и тионафтеновый, с нафталиновым, антраценовым, аценафтеновым, карбазоловым и т. п. ядрами. Главные представители их указаны выше [(V) и (VI)]. И. к. в., не содержащие пятичленных колец, за исключением карбиндиго, стали известны лишь недавно. Р. Вильштеттером был получен краситель (XII), представляющий 2,2′-bis-нафталининдиго, который не содержит вовсе гетероциклич. ядер и тем самым заслуживает большого теоретич. интереса. За последние годы сильно развилось получение и изучение И. к. в., в состав к-рых входят аналоги индолового и тионафтенового ядер, содержащие вместо бензольного ядра нафталиновое или антраценовое (антрахинонное). Получаются они аналогично индиго из соответствующих глициновых производных или аналогично тиоиндиго из соответствующих тиогликолькарбоновых к-т. Эти И. к. в. могут давать как симметричные красители, так и несимметричные при конденсации соответствующих им изатинов с индоксилом, окситионафтеном и т. п. В виду возможностей различного положения пирролового или тиофенового цикла при ядре нафталина или антрацена, число возможных изомеров этих красителей велико. Кроме вышеописанных И. к. в., широкое распространение имеют их производные, гл. обр. галоидные и метильные.

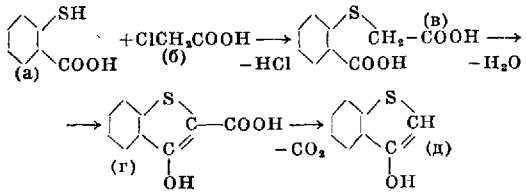
И. к. в. получаются преимущественно при конденсации уже предварительно приготовленных промежуточных продуктов, содержащих замкнутые, необходимые для молекулы красителя циклы. Таковыми являются содержащие пятичленные ядра индоксил, оксиндол, изатин, изатинанилид, 3-окситионафтен и ряд кислородных производных ароматич. углеводородов — нафталина, антрацена, аценафтена и др. В виду того что различные кислородные производные индола вступают в реакцию неодинаково, возможно получение перечисленных выше различных И. к. в. Так, в индоксиле (а) вступает



в реакцию водород при углеродном атоме 2, в оксиндоле же (б)—при углероде 3. Изатин (в) вступает в реакцию за счет карбонильной группы 3, иначе называемой β, в то время как изатинанилид (г)—за счет замещенной карбонильной группы 2 (α); 3-окситионафтен (д) аналогичен индоксилу. Так, напр., конденсация оксиндола с изатином ведет к образованию 3, 3′-bis-индолиндиго, а индоксила

с изатинанилидом—к 2,2′-bis-индолиндиго. Сочетая различным образом между собой, а также с кислородными производными нафталина, антрацена, аценафтена и др. вышеприведенные промежуточные продукты, можно получить различные И. к. в. Все эти сочетания происходят весьма легко в водном или спиртовом растворе, в силу легкой подвижности атомов водорода и кислорода всех вышеперечисленных продуктов.

Из кислородных производных индола, применяемых для синтеза И. к. в., наиболее важны индоксил, изатин и изатинанилид (см. *Индиго*). Не менее важны производные тионафтена, в частности 3-окситионафтен, тиоиндоксил, который при окислении непосредственно переходит в тиоиндиго красный (III), в силу чего производство его сильно распространено; его получают действием хлоруксусной к-ты (б) на тиофенолкарбоновую к-ту (а), неправильно назыв. тиосалициловой. Продукт конденсации (в) при действии щелочей при повышенной $t°$, аналогично методу Геймана при синтезе индиго, и при действии кислотных водоотнимающих средств, как хлорсульфоновая кислота, замыкает тионафтеновое кольцо, переходя в 3-окситионафтен-2-карбоновую к-ту (г). Последняя уже при кипячении с водой выделяет CO_2, переходя в 3-окситионафтен (д). Последняя операция представляется часто лишней, т. к. и карбоновая к-та 3-окситионафтена может непосредственно окисляться в тиоиндиго и вступать в конденсацию с образованием И. к. в., выделяя CO_2 в процессе конденсации. Вся вышеизложенная реакция м. б. выражена следующей схемой:



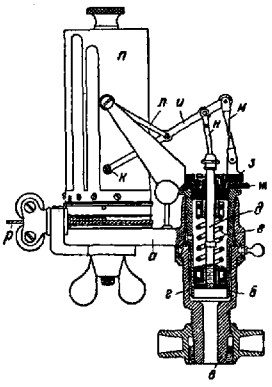
По своим свойствам И. к. в. несколько отличаются от своего родоначальника, индиго, тем, что лейкосоединения многих из них, подобно галоидопроизводным индиго, обладают более субстантивными свойствами и выбираются волокном. Кроме того, некоторые из них, как тиоиндиго красный и др., м. б. переведены в натриевые соли лейкосоединений не только при действии гидросульфита, но и при действии сернистого натрия, т. е. аналогично сернистым красителям. При этом получаются все же несколько более тусклые окраски.

И. к. в. начали приобретать большое значение в текстильной промышленности с начала 20 в., и в числе их имеются весьма прочные и яркие красители. Нек-рые из них переводятся в *индигозоли* (см.), что послужило лишним толчком к более усиленному их производству. Несмотря на это не во всех странах, приступивших к самостоятельному производству красящих веществ, имеется производство И. к. в. кроме индиго, т. к. нек-рые из них потребляются в небольшом количестве, в силу чего самостоятельное производство И. к. в. является невыгодным. Теоретич. интерес И. к. в. весьма велик, и исследования новых И. к. в. продолжаются.

Лит.: Шапошников В. Г., Общая технология волокнистых и красящих веществ, М.—Киев, 1926; Fierz-David H. E., Grundlegende Operationen d. Farbenchemie, 3 Aufl., B., 1924; Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, B., 1926; Mayer F., Chemie d. organischen Farbstoffe, 2 Aufl., Berlin, 1924; Rowe F., Colour Index, N. Y., 1924; «B», 1928, B. 61, p. 362; Friedlaender P., Fortschritte d. Teerfarbenfabrikation und verwandter Industriezweige, T. 15, B., 1928; Truttwin H., Enzyklopädie d. Küpenfarbstoffe, B., 1920; Cain J. a. Thorpe E., The Synthetic Dyestuffs, London, 1923; Martinet J., Matières colorantes. L'indigo et ses dérivés, Paris, 1926; Карты образцов I. G. Farben и Ciba. **И. Иоффе.**

ИНДИКАТОР, аппарат для записи колебаний давления в цилиндрах поршневых машин в зависимости от положения одной из деталей основного механизма, чаще всего поршня, иногда от угла поворота главн. вала и пр. Вычерчиваемая И. кривая, индикаторная диаграмма, характеризует собой работу действующего агента (жидкости или газа) в цилиндре. И. разделяется на часть, воспринимающую давление, и на передающий и регистрирующий механизмы. Первая состоит обычно из поршня, нагруженного пружиной, или из мембраны, а вторые бывают весьма разнообразного устройства, и по способу передачи показаний различают И. механические, оптические, электрические, электро-пневматические.

Теория и типы И. Механический поршневой И. (фиг. 1) сист. Розенкранца представляет собой один из простейших типов. Он состоит из станины *а*, со сменным рабочим цилиндром *б*, к-рый коническим патрубком *в* сообщается с полостью цилиндра индицируемой машины. В цилиндре *б* ходит плотно притертый поршень *г*, соединенный со штангой *д* и с одним концом пружины *е*; второй конец последней прикреплен к крышке *ж*. На крышке находится вращающееся кольцо *з*, на к-ром укреплен передающий аппарат, состоящий из пишущего рычага *и* с карандашом *к*, двух подвесных тяг *л* и *м* и шатуна *н*. Диаграмма вычерчивается карандашом на бумажном листе, натянутом на барабан *п*, к-рый приводится в переменновращательное движение шнурком *р*, намотанным в $1^1/_2$—2 оборота на нижнюю часть барабана. Обратное движение и необходимое натяжение шнурка совершаются спиральной пружиной, укрепленной одним концом в барабане, а другим—на неподвижной оси его. Механич. И. других систем отличаются от описанного лишь б. или м. существенными деталями. Работа И. заключается в следующем: пространство под поршнем сообщается с той полостью, давление к-рой д. б. индицировано. Под действием этого давле-

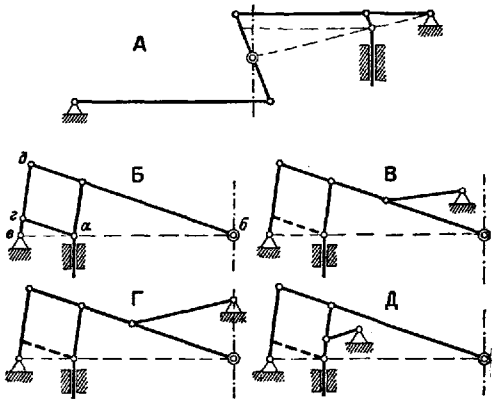


Фиг. 1.

ния поршень $г$ сожмет или растянет пружину $е$, и перемещение поршня в увеличенном масштабе будет отмечено карандашом $к$; одновременно барабан $п$ шнурком $р$ поворачивается на угол, зависящий от перемещения какой-либо части индицируемой машины. Полученная диаграмма имеет ординаты, пропорциональные (в пределах точности передающего механизма) перемещениям поршня И. (а не непосредственно давлениям), а абсциссы—углам вращения барабана (а не перемещениям соответственного органа индицируемой машины). В числе причин, искажающих показания И., т. е. нарушающих пропорциональность между перемещениями поршня и давлениями, углами поворота барабана и перемещениями органа машины, при правильной установке и оперировании И., главную роль играют силы инерции частей И. и передаточного механизма (механизма, передающего движения индицируемой машины барабану И.). Чем выше число оборотов индицируемой машины, тем затруднительнее правильная работа И. Оба главных движения И. должны быть строго пропорциональны давлению и перемещению выбранной детали индицируемой машины. Одним из главнейших условий правильного действия И. является прямолинейность движения карандаша и пропорциональность его пути передвижениям поршня, для чего применяется рычажный механизм, известный в кинематике под названием прямила.

В И. употребляются два основных рода прямил: трехзвенное прямило [*параллелограм Уатта* (см.)] и производные пантографного прямила. Трехзвенное прямило (фиг. 2, А) употребляется в виду его громоздкости сравнительно редко; оно является частным случаем четырехшарнирного механизма, у к-рого средняя точка среднего звена вычерчивает кривую в виде восьмерки—лемнискоиду, часть к-рой достаточно близко напоминает прямую. Пантографное прямило в чистом виде изображено на фиг. 2, Б. Если точка $а$ движется по прямой, то точка $б$ пишущего рычага, лежащая на одной прямой с $а$ и $в$, двигается также по прямой, при чем ее скорость строго пропорциональна скорости точки $а$, но увеличена в отношении $\frac{вб}{ав}$. Пантографное прямило применяется в чистом виде весьма редко, т. к. два близко лежащих шарнира $в$ и $г$ вследствие неизбежной игры допускают значительные угловые перемещения тяги $ад$, чем практически сводят на-нет достижимую теоретически точность. Обычно это прямило применяется в одной из след. модификаций (пунктиром обозначен отсутствующий в действительности стержень $аг$): укороченное эллиптич. прямило (фиг. 2, В), прямило Эванса (фиг. 2, Г) и прямило Кросби (фиг. 2, Д); все они обладают достаточною для практич. целей точностью; наиболее точным является прямило Эванса, но получающаяся при этом конструкция несколько тяжела и поэтому мало пригодна для И., предназначенных для быстроходных машин. В последних применяют прямило Кросби, как обладающее наименьшей приведенной к штоку поршня массой.

Поршень И. находится в каждое мгновение своего движения под действием следующих сил: а) силы давления pf на поршень, где p — искомое давление, а f — известная площадь поршня; б) силы сжатой индикаторной пружины—cs, где $с$—постоянная пружины, а s—величина сжатия (растяжения) пружины, даваемая в увеличенном виде ординатой индикаторной диаграммы; в) силы трения поршня и передающего механизма, полагаемой постоянною, равною $\pm W$; г) силы, зависящей от поглощения энергии молекулярным трением в частях И.; т. к.



Фиг. 2.

энергия эта принимается пропорциональной квадрату скорости, то сила пропорциональна скорости движения поршня и равна $\varepsilon\frac{ds}{dt}$, где ε—коэфф., определяемый для данных условий работы И. из опыта, а t—время; д) силы инерции движущихся масс И., связанных с поршнем, пропорциональной ускорению и равной $m\frac{d^2s}{dt^2}$, где m—масса движущихся частей, приведенная к движущемуся концу пружины (или, что то же, к поршню). Т. к. в каждый момент сумма всех сил, действующих на поршень, равна 0, то имеем следующее дифференциальное ур-ие движения поршня:

$$pf - cs \pm W - \varepsilon\frac{ds}{dt} - m\frac{d^2s}{dt^2} = 0\,. \qquad (1)$$

В этом ур-ии величины f и $с$ даны конструкцией И., W, ε и m определяются вычислением или опытом, величину s получают, измеряя соответственную ординату индикаторной диаграммы, $\frac{ds}{dt}$ и $\frac{d^2s}{dt^2}$ получают из самой индикаторной диаграммы, и, т. о., теоретически не встречается препятствий для точного определения значения p в каждый данный момент. На практике, однако, к этим вычислениям прибегают лишь в исключительных случаях. Из ур-ия (1) видно, что, за исключением легко учитываемого влияния трения W, два остальных неизвестных члена зависят от скорости и ускорения частей И. Пока для данного И. не превзойдено некоторое число ходов в мин., зависящее от конструкции И. и абсолютной высоты диаграммы, влияние этих членов на диаграмму настолько мало, что ими можно на практике пренебречь. Вторым обстоятельством,

искажающим индикаторную диаграмму, является возникновение колебательных движений упругого звена индикаторного механизма (пружины, мембраны). Особенно сильно заметно влияние этих колебаний при резких изменениях давления у быстроходных двигателей, напр. у автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Общее ур-ие частоты колебаний z поршня И. имеет вид:

$$z = \frac{\sqrt{4c \cdot m - \varepsilon}}{4\pi m}; \qquad (2)$$

отбрасывая ε в виду его малости, получаем:

$$z = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c}{m}}, \text{ или } m = \frac{c}{4\pi^2 z^2}. \qquad (3)$$

Наибольшее отклонение поршня под влиянием сил инерции от положения, соответствующего действительному давлению:

$$\Delta y = \frac{a_{max} m}{c},$$

где a_{max}—максимальное ускорение поршня при $c=1$, определяемое опытом. Для удобочитаемости диаграммы важно не абсолютное значение Δy, а его отношение к максимальн. ординате перемещения поршня $y = \frac{p_{max}}{c}$, т. е.

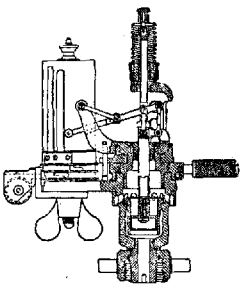
$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{a_{max} \cdot m \cdot c}{c^2 \cdot p_{max}}, \qquad (4)$$

где p_{max}—максимальное индицируемое И. давление. Подставляя значение m из ур-ия (3) и замечая, что для данного И. и для данной формы индикаторной диаграммы $a_{max} = k\ n^2$, где k—постоянная, а n—число оборотов индицируемого мотора, имеем:

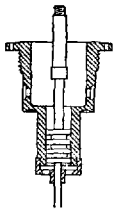
$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{k}{4\pi^2 \cdot p_{max}} \cdot \frac{n^2}{z^2} = K \cdot \frac{n^2}{z^2}. \qquad (5)$$

Из ур-ия (5) видно, что наибольшая ошибка прямо пропорциональна квадрату чисел оборотов, обратно пропорциональна частоте собственных колебаний И. и, кроме того, при равных прочих условиях (высоте диаграммы) обратно пропорциональна величине максимального индицируемого давления. Все выведенные выше соотношения справедливы, конечно, для предположенного заданным закона изменения давлений в индицируемом цилиндре, т. е. для данной формы индикаторной диаграммы; от быстроты изменения давлений зависит и величина a_{max}, а следовательно, и K в ур-ии (5). Для правильной работы И. необходимо, чтобы частота собственных колебаний была много больше числа оборотов индицируемого двигателя (для двигателей Дизеля в 12—15 раз, для двигателей, работающих по циклу Отто, в 16—20 раз). Обычно фирмы указывают границы применения И., далеко не соответствующие действительности, и для получения диаграмм, выражающих истинный ход процесса, рекомендуется использовать не более $^1/_3$—$^1/_2$ числа оборотов, указанных в проспектах фирм. Из сказанного понятно также, почему один и тот же И. может дать хорошую нормальную и совершенно непригодную диаграмму со слабой пружиной (увеличение K вследствие уменьшения p_{max}).

И. для тихоходных машин не представляют значительных конструктивных трудностей и изготовляются лишь в двух основных разновидностях—с внутрилежащей, «горячей» (фиг. 1), или с наружной, «холодной» (фиг. 3) пружиной. Последний тип несколько сложнее, но предпочтительнее первого, т. к. нахождение пружины под действием высоких $t°$ ведет к изменению структуры стали и механических качеств пружины. Пружину делают в настоящее время всегда двойной для избежания возникновения изгибающего момента под действием несимметричной нагрузки штока ординарной пружиной. Пружины делают как для работы на сжатие (фиг. 1), так и на растяжение (фиг. 3). В большом употреблении пружины Кросби (фиг. 3) с шариком на соединительной части обеих ветвей, которым она соединяется со штоком; эта конструкция позволяет значительно облегчить шток поршня. Из особых конструкций поршня заслуживает внимания система Розенкранца (фиг. 4); в ней поршень состоит из ряда дисков, соединенных штоком, при чем последний продолжен внизу и служит направляющим; эта система обладает всеми достоинствами лабиринтового сальника и не коробится от разницы $t°$, как обычные поршни П- и Н-образных сечений. Для того, чтобы один и тот же индикатор мог быть использован для индицирования различных машин, его снабжают несколькими сменными пружинами, при чем, конечно, соответственно меняется вертикальный масштаб диаграммы. Дальнейшее увеличение пределов применимости И. достигается употреблением вставных цилиндров с поршнями других диаметров; обычно площадь вспомогательного поршня берут в простом отношении к площади нормального. Обозначая отношение площадей нормального поршня F к добавочному F_1 через $\varkappa$, мы должны в $\varkappa$ раз увеличить максимальное индицируемое давление и в $\varkappa$ раз уменьшить масштаб каждой пружины.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Существенной частью И. является барабан; он приводится обычно в переменновозвратное вращательное движение от передаточного механизма, связанного обыкновенно с крейцкопфом индицируемой машины; передача совершается при помощи особого шнура. На барабан в каждый момент действуют следующие силы (все—приведенные к средней окружности витка шнура на барабане радиуса r): а) сила натяжения шнура S; б) натяжение пружины, равное $K_0 + K_1 y$, где K_0—первоначальное натяжение ее, K_1—постоянная пружины и y—линейное перемещение средней окружности витка; в) сила инерции барабана, равная $\frac{I}{r}\frac{d^2\alpha}{dt^2}$, где I—момент инерции массы барабана, равный mr^2 (m—масса, отнесенная к средней окружности), а α—угловое перемещение барабана; г) сила трения ϱ. Замечая, что $y = r\alpha$, имеем следующее дифференциальное ур-ие движения барабана:

$$S - K_0 - K_1 y - m\frac{d^2y}{dt^2} \pm \varrho = 0. \qquad (6)$$

Перемещение y_1 механизма, приводящего

барабан во вращение, связано с перемещением барабана следующим уравнением:

$$y = y_1 - \frac{L}{E} S, \qquad (7)$$

где L—длина шнура, E—модуль упругости его (при малых усилиях индикаторный шнур подчиняется закону Гука); подставляя в ур-ие (7) величину S из ур-ия (6) имеем:

$$y = y_1 - \frac{L}{E}\left(K_0 + K_1 y + m\frac{d^2y}{dt^2} \pm \varrho\right). \qquad (8)$$

В первом приближении можно принять, что $y = y_1$ и крейцкопф совершает гармонич. колебания, т. е. $y_1 = l \sin(\omega_1 t)$, где l—ход барабана и ω_1—угловая скорость индицируемого двигателя; отсюда

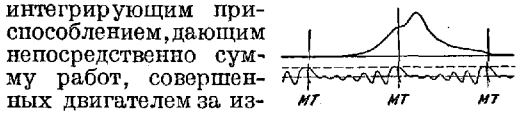
$$\frac{d^2y}{dt^2} = -l\omega_1^2 \sin(\omega_1 t) = -\omega^2 y_1;$$

подставляя это выражение в ур-ие (8), получаем окончательно:

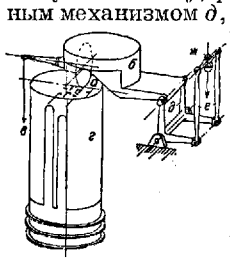
$$y = y_1\left(1 + \frac{Lm}{E}\omega_1^2\right) - \frac{L}{E}(K_0 + K_1 y \pm \varrho). \qquad (9)$$

Из ур-ия (9) видно, что силы инерции барабана при условии гармонич. колебания крейцкопфа не нарушают пропорциональности перемещений барабана и крейцкопфа; первоначальное натяжение пружины несколько смещает всю диаграмму в сторону; переменное натяжение обусловливает то, что масштаб абсцисс меняется по длине диаграммы; наиболее вредным оказывается по причине знакопеременности трение, поэтому его следует по возможности уменьшать.

Описанные системы И. служат для получения замкнутых однократных диаграмм нормального типа. Иногда, в частности для изучения процессов регулировки, является желательным снять целый ряд диаграмм т. о., чтобы они не покрывали друг друга, как это имеет место при нормальных И. Для этого И. снабжают специальным барабаном (фиг. 5); он укрепляется на месте нормального барабана и также приводится шнуром в переменновозвратное вращательное движение. Индикаторная бумага в длинном ролике a помещается внутри барабана; она проходит сначала между двумя роликами *1* и *2*, из к-рых первый укреплен на рычажке *б* и прижимается пружиной *в*, затем бумага огибает снаружи барабан и, пройдя по ролику *3*, наматывается на валик *г*; последний в конце каждого двойного хода храповым механизмом поворачивается на нек-рый угол, так что новая диаграмма начинается каждый раз несколько отступя по горизонтали от предыдущей. Иногда является желательным получить абсциссы пропорциональными не перемещению поршня двигателя, а углу вращения коренного вала. В этом случае вращение коренного вала передается особому барабану, непрерывно продвигающему бумажную ленту под карандашом И. Для определения положения мертвых точек (*МТ*) поршня на И. укрепляют электрич. аппарат, отмечающий моменты прохождения кривошипа через мертвые положения; иногда пишущий рычаг этого приспособления делают колеблющимся, и тогда, зная частоту его колебаний, можно пользоваться этими отметками также и при изучении протекания процессов во времени; диаграмма этого типа дана на фиг. 6. Иногда И. снабжают интегрирующим приспособлением, дающим непосредственно сумму работ, совершенных двигателем за измеренное число циклов. Принцип действия интегрирующего И. системы Бетхера виден из фиг. 7. Интегрирующий механизм состоит из колесика a, укрепленного в рамке *б* и прижимаемого пружиной *в* к верхней плоской поверхности индикаторного барабана *г*. Вращение колесика передается счетному механизму; рамка *б* соединена рычажным механизмом *д*, *е* и *ж* со штоком И. так, что при атмосферном давлении колесико прикасается к цилиндру на расстоянии r_0 от центра последнего, а при перемещениях штока И., соответствующих давлениям свыше атмосферного, приближается к центру, причем величина перемещения $r_0 - r$ пропорциональна перемещению поршня И. Отбрасывая погрешности и полагая, что перемещения поршня И. пропорциональны давлениям, а углы вращения барабана—пути поршня индицируемого двигателя, получаем:



Фиг. 6.



Фиг. 7.

$$p = C_1(r_0 - r),$$
$$ds = C_2\, da, \qquad (10)$$

где p—какое-нибудь давление в цилиндре двигателя, ds—бесконечно малое перемещение поршня двигателя, da—соответствующий (по времени) бесконечно малый поворот барабана И., а C_1, C_2—постоянные для данного И. и способа передачи. Работа dA, совершенная двигателем на пути поршня ds, равна:

$$dA = F \cdot p \cdot ds$$

(F—площадь поршня двигателя); подставляя значения p и ds из ур-ий (10), получаем:

$$dA = FC_1C_2(r_0 - r)\, da. \qquad (11)$$

Обозначая давления в цилиндре двигателя в течение переднего (рабочего) хода поршня через $p_1 = C_1(r_0 - r_1)$, а при обратном ходе $p_2 = C_1(r_0 - r_2)$, получаем индикаторную работу за один цикл:

$$A = F\int_0^S p_1 ds + F\int_S^0 p_2 ds = F\int_0^S p_1 ds - F\int_0^S p_2 ds, \qquad (12)$$

где S—ход поршня. Угол поворота β колесика пропорционален углу поворота барабана и расстоянию колесика от центра последнего, т. е.

$$d\beta = C_3 r\, da.$$

Т. к. при замкнутом цикле колесико проходит каждую абсциссу диаграммы дважды — один раз в прямом и другой раз в обратном направлении, то общий угол поворота колесика за цикл:

$$\beta = C_3\left[\int_0^a r_1\, da + \int_a^0 r_2\, da\right] = C_3\left[\int_0^a r_1\, da - \int_0^a r_2 da\right]. \qquad (13)$$

Подставляя в уравнение (12) значения p и ds из уравнений (10), имеем:

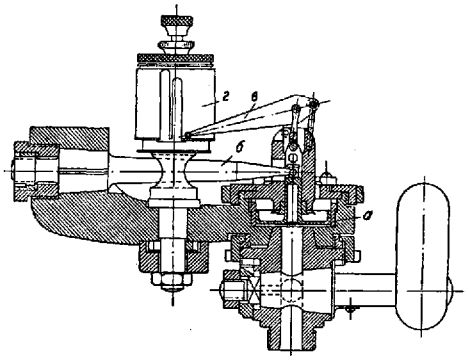
$$A = FC_1C_2\left[\int_0^a (r_0 - r_1)\,d\alpha - \int_0^a (r_0 - r_2)\,d\alpha\right] =$$

$$= -FC_1C_2\left[\int_0^a r_1\,d\alpha - \int_0^a r_2\,d\alpha\right];$$

подставляя сюда вместо разности интегралов ее значение из ур-ия (13), равное $\frac{\beta}{C_3}$, имеем окончательно за один полный цикл

$$A = -\frac{FC_1C_2}{C_3}\beta = K\beta, \qquad (14)$$

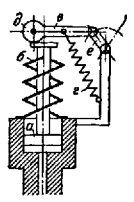
т. е. угол поворота колесика прямо пропорционален работе двигателя за один цикл; ясно, что если индицирование распространено на несколько циклов, то общий угол



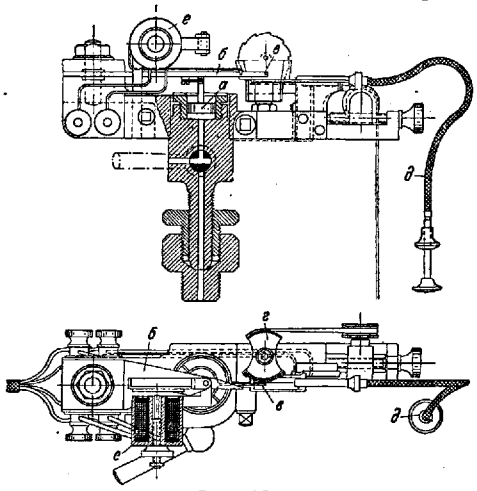
Фиг. 8.

поворота колесика будет пропорционален работе, совершенной за эти циклы. При этом следует, однако, иметь в виду, что уравнение (14) справедливо лишь для целого числа полных циклов; поэтому при индицировании малого числа оборотов двигателя надо принять меры к тому, чтобы И. был пущен в ход и остановлен в одной и той же точке цикла.

Все описанные выше системы И. пригодны лишь для индицирования двигателей с плавной диаграммой и небольшими числами оборотов. Значительное распространение легких двигателей внутреннего сгорания с резко изменяющимися давлениями и большими числами оборотов (в современных моторах гоночных машин до 7 000 об/м. и выше) вынудило создать И. специальных конструкций с преимущественным применением оптических или электрич. систем регистрации. Одним из действительно быстроходных механическ. И. является И. со стержневой пружиной, изображенный на фиг. 8; легкий поршень a опирается на сферич. конец стержневой пружины $б$, укрепленной в станине И.; перемещения поршня передаются пишущим механизмом $в$ (прямило Кросби) на барабан $г$. Собственное число колебаний этого индикатора равно: с пружиной 1 *мм*—1 *atm*: 30 000—40 000 кол/м.; 2 *мм*—1 *atm*: 21 000—28 000 кол/м.; 0,5 *мм*—1 *atm*: 42 000 — 55 000 кол/м.; т. о., он м. б. применяем с первой пружиной до 2 500 об/м., со второй—до 1 750 об/м. и с третьей—до 3 500 об/м. В микроиндикаторе системы Мадера совершенно отсутствует передаточный увеличивающий механизм (фиг. 9); перемещения поршня a, нагруженного спиральной пружиной $б$, передаются непосредственно рычажку $в$ с карандашом; последний прижимается к штоку слабой пружиной $г$ и совершает под действием особого приводного механизма $е$ поперечное движение, при чем пути его пропорциональны путям крейцкопфа индицируемого двигателя. Укрепленное в головке $д$ рычажка острие чертит диаграмму на закопченной стеклянной или на целлюлоидной пластинке; получающаяся диаграмма весьма мала (не более 2×2,3 *мм*), так что дальнейшая обработка ведется под микроскопом. Последнее обстоятельство, в связи с тем, что число собственных колебаний не очень велико (применение спиральной пружины), сильно ограничивает распространение И. этой системы. Другой микроиндикатор, системы Коллинса, изображен на фиг. 10; здесь давление поршня a передается непосредственно на плоскую стальную пружину $б$, имеющую форму тела равного сопротивления. К концу пружины прикреплен легкий рычажок $в$, снабженный на конце острием, царапающим диаграмму на целлюлоидной пластинке, натянутой на цилиндрический сектор $г$. Максимальный ход поршня равен 0,8 *мм*, соответствующее перемещение острия—3 *мм*. И. пускается в ход боуденовским шнуром $д$ и снабжен электрическим приспособлением $е$, отнимающим острие от диаграммы по истечении одного целого цикла. В виду жесткости и большой частоты колебаний пластинчатой пружины, этот И. пригоден для больших чисел оборотов.



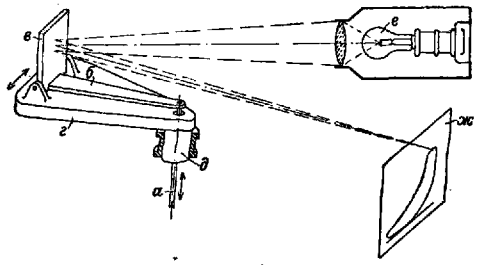
Фиг. 9.



Фиг. 10.

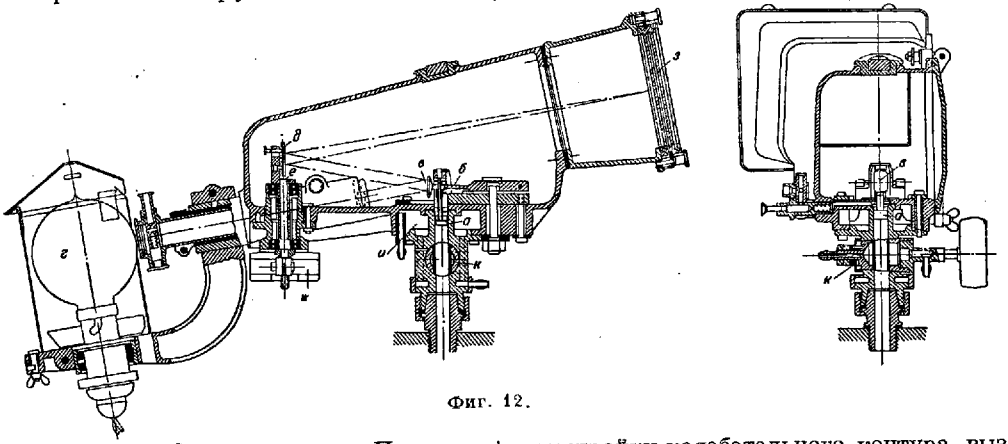
Общая принципиальная схема оптич. И. изображена на фиг. 11: перемещения стержня a, соединенного со штоком поршня (или с мембраной) И., пропорциональные давлениям, через посредство рычага $б$ сообщают зеркалу $в$ отклонения, которые также пропорциональны давлениям в цилиндре И. Вся рамка $г$ с сидящим на ней зеркалом вращается вокруг вертикальной оси $д$, при чем углы

поворота рамки пропорциональны перемещениям поршня индицируемого двигателя. Луч света от лампы *е* отбрасывается зеркалом и проектируется на матовый экран *эк*.

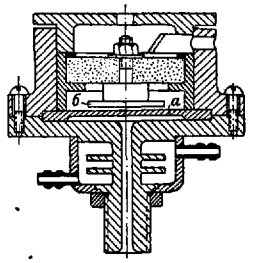


Фиг. 11.

При небольших значениях углов отклонения зеркала перемещения световой точки на экране пропорциональны: по оси абсцисс— перемещениям поршня, а по оси ординат— давлениям, т. е. на экране появляется нормальная индикаторная диаграмма, к-рая м.б. рассматриваема невооруженным глазом или снята на фотографич. пластинку. Практич. выполнение оптического И. системы Берстол (Burstall) дано на фиг. 12. Поршень *а* опирается штоком непосредственно на пластинчатую пружину *б* в виде тела равного сопротивления, несущую на конце зеркальце *в*. Последнее отбрасывает луч света, посылаемый лампой *г* на зеркало *д*, к-рое сообщает лучу требуемое отклонение по оси абсцисс; для этого оно укреплено на оси *е*, вращающейся в шарикоподшипниках и приводимой в переменно-возвратное вращательное движение сектором *эк*. Отраженный вторично луч падает на матовый экран *з*, заменяемый при желании кассетой с фотографическ. пластинкой. Цилиндр *и* и кран И. *к* охлаждаются водой. Хотя И. этого рода и обладают большой чувствительностью и собственная частота колебаний, вследствие использования лишенного массы пучка света в качестве рычага, весьма высока, но недостатком их является громоздкость и значительная восприимчивость к механич. толчкам и колебаниям индицируемого двигателя.

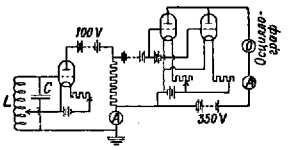


Фиг. 12.



Фиг. 13.

В последнее время учащаются попытки применить для целей передачи в И. переменный ток. На фиг. 13 изображен И. системы Юиши Обата (Токийский ун-т), а на фиг. 14— его включение в цепь осциллографа. Конструкция и принцип действия И. очень просты: рабочей частью является толстая стальная *мембрана а (2—3 мм толщ. и 50 мм ⌀)*, полость под которой сообщается с рабочим цилиндром индицируемого двигателя. Над мембраной на небольшом расстоянии прикреплен диск *б*, изолированный от корпуса И. Нижняя часть И. сделана в виде охлаждающей камеры, в которую пропускается вода. Принцип работы И. заключается в том, что мембрана *а* и диск *б* используются в качестве двух обкладок конденсатора *C*, включенного в колебательный контур *CL* небольшого лампового генератора. Изменение расстояния между обеими пластинками меняет емкость конденсатора, а следовательно, и настройку колебательного контура, вызывая тем самым колебания в анодной цепи генератора, к-рые после усиления в усилителе передаются на самопишущий осциллограф *О*. Т. к. частота собствен. колебаний мембраны была определена в 480 000 кол/м. для 2-*мм* диафрагмы и в 720 000 кол/м. для 3-*мм*, то при помощи этого индикатора возможно индицирование весьма быстроходных двигателей. Крупным неудобством, однако, является трудность тарирования его, т. е. перевода ординат осциллограммы в давления, так как большое количество промежуточных звеньев сильно влияет на передаточный коэфф. Поэтому И. этой системы пригодны более для качественного, чем количественного, изучения процесса работы двигателя. Равным образом, были попытки применения пьезокварца в качестве модулятора электрических колебаний, воспринимаемых затем после соответственного усиления осциллографом или регистрирующим струнным гальванометром.

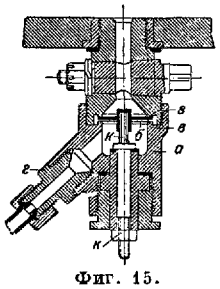


Фиг. 14.

На совершенно ином принципе основан ряд индикаторов для быстроходных двигателей, в которых конструкторы заранее отказываются от вычерчивания индивидуальных диаграмм, а прибегают к вычерчиванию средних диаграмм за целый ряд циклов. К И. этого типа относятся И. систем Юхаца (K. J. Juhasz) и Британского аэродинамич. ин-та (Royal Aircraft Establishment). В И. сист. Юхаца для записи служит обыкновенный механич. И., присоединенный к мотору помощью особого приспособления, к-рое сообщает пространство под поршнем И. лишь на весьма короткое время с полостью индицируемого цилиндра. Между началами двух смежных открываний соединительного канала между мотором и И. (заполненного маслом для более быстрой передачи давления) проходит промежуток времени

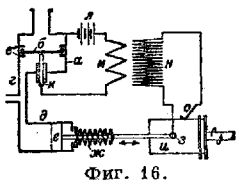
$$T = \left(1 + \frac{1}{n}\right) T_1,$$

где T_1—время одного оборота индицируемого двигателя; барабан И. двигается от того же приспособления с $\frac{1}{n}$ скорости, соответствующей действительному числу оборотов двигателя. Т. о., карандаш И. за один оборот двигателя отмечает лишь давление, существовавшее в нек-рой точке хода поршня; при следующем обороте он отметит уже давление не в этой, а в другой точке, лежащей на $\frac{1}{n}$ оборота впереди; т. к. за это время барабан переместится на угол, соответствующий $\frac{1}{n}$ оборота, то давление опять будет отмечено на должной абсциссе, и через n или $2n$ оборотов (для двух- и четырехтактных двигателей) будет окончена одна полная диаграмма, представляющая собой до известной степени среднюю за истекшие n или $2n$ оборотов. Понятно, что при этом способе правильная диаграмма м. б. получена лишь при вполне установившейся работе двигателя. В виду того, что все движения И. при этом замедлены в n раз, влияние инерционных сил практически равно нулю.



Фиг. 15.

И. Британского аэродинамич. ин-та изображен на фиг. 15, общая схема установки—на фиг. 16.



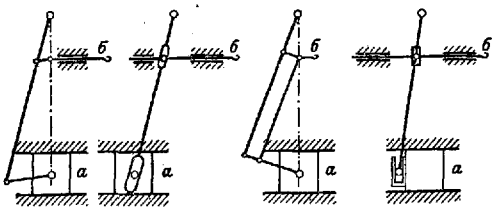
Фиг. 16.

В цилиндре *а* И. помещается весьма легкий клапан *б*, опирающийся с обеих сторон на клапанные седла *в*, *в*. Верхняя часть цилиндра сообщается с цилиндром индицируемого двигателя, а нижняя через патрубок *г*—с цилиндром пишущего приспособления *д* и с резервуаром, в к-ром в течение опыта давление понижается от максимального, достигаемого в цилиндре мотора, до атмосферного или, в случае необходимости, и ниже последнего. В цилиндре ходит поршень *е*, находящийся под действием пружины *ос* и снабженный штоком, на к-ром укреплено металлич. острие *з*, соединенное с одним концом вторичной обмотки трансформатора *н*. В нижнем положении вентиль прикасается к штифту *к* и т. о. замыкает цепь батареи *л* через первичную обмотку трансформатора *м*. Каждый раз как клапан *б*, поднимаясь или опускаясь, размыкает или включает ток в первичной обмотке трансформатора, во вторичной индуктируется толчок тока, ведущий к искровому разряду между острием *з* и барабаном *и*, включенным в цепь вторичной обмотки посредством контакта *о*. Барабан *и* с натянутой на нем тонкой бумагой совершает вращательное движение с угловой скоростью коренного вала индицируемого двигателя. Поршень *е* медленно следует изменению давления в резервуаре с сжатым воздухом, и его положение всегда соответствует величине давления в цилиндре *д* и нижней части цилиндра *а* И. Каждый раз как давление в рабочем цилиндре двигателя, возрастая или убывая, уравнивается с давлением в нижней части цилиндра *а*, клапан *б* замыкает или размыкает ток в первичной обмотке трансформатора, и на соответствующем месте бумажной полосы, натянутой на барабан *и*, пробивается искрой небольшое отверстие. После того как давление в резервуаре упадет ниже наименьшего давления в цилиндре двигателя, на бумажной полосе рядом точек будет вычерчена полная (развернутая) индикаторная диаграмма. Т. к. в И. этой системы единственной деталью, совершающей переменно-возвратные движения, является очень легкая тарелка клапана, путь к-рой к тому же равен всего ~0,8 *мм*, то влияние сил инерции можно практически считать исключенным.

Установка И. Правильность показаний И. в значительной мере зависит от надлежащего присоединения его к индицируемому двигателю и от устройства и установки приводного механизма для передачи движения барабану И. Общими принципами, которыми следует руководствоваться при проектировании индикаторных гнезд, являются следующие: канал, сообщающий внутреннее пространство цилиндра, д. б. по возможности короток, не иметь внезапных изменений направления и сечения; не должен ни при каких положениях частей двигателя закрываться поршнем или какой-либо деталью распределительного механизма; в двигателях внутреннего сгорания д. б. достаточно хорошо проветриваем, чтобы в нем не могли собираться догорающие газы; в насосах не должен допускать возможности образования воздушных мешков, а в паровых машинах должен иметь небольшой уклон для стока конденсационной воды в цилиндр двигателя. В малых двигателях и в поршневых машинах с очень малым вредным пространством (компрессоры) добавочное вредное пространство, получающееся вследствие присоединения к объему цилиндра дополнительного объема И., может совершенно исказить действительные условия работы. В этих случаях при малом числе оборотов (действительном или фиктивном, как в И. системы Юхаца) можно помочь этому, заполняя всю полость соединительного канала и И. жид-

костью. Способ снимания одним И. диаграмм одновременно на обеих сторонах парового цилиндра помощью длинной трубки и трехходового крана, соединяющего И. попеременно с одной и другой стороной цилиндра, ведет к грубым погрешностям вследствие значительного увеличения вредного пространства, инерции масс пара, находящихся в трубке, и мятия пара при прохождении через загибы трубки и трехходовой кран. Хотя правильность работы И. не зависит от положения последнего, но принято за правило в паровых машинах ставить его вертикально вверх для облегчения удаления конденсата из цилиндра И., а при индицировании насосов—наклонно вниз, чтобы воздух, попавший в цилиндр И., выходил из него и не образовывал воздушного мешка.

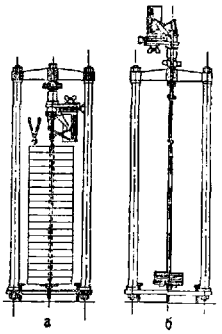
Нормальным способом приведения в движение барабана является применение ходоуменьшителя рычажного или роликового типа, получающего движение от крейцкопфа, штока или поршня машины. Наиболее точным является рычажный ходоуменьшитель, *однако, его конструкция и установка* требуют также известного внимания, чтобы углы поворота барабана, а следовательно, и абсциссы индикаторной диаграммы были



Фиг. 17.

действительно пропорциональны путям, проходимым поршнем. Условием, достаточным для правильного действия передаточного механизма, является соблюдение закона механического подобия части, воспринимающей движение, и части, передающей его дальше. На фиг. 17 изображены 4 рычажных ходоуменьшителя, удовлетворяющих этому условию и дающих вполне точную пропорциональность между перемещениями ползуна *а* и крючка *б* для индикаторного шнура; понятно, что шнур должен двигаться по одной прямой с направлением движения крючка *б*, т. к. в противном случае в виду конечной длины шнура угол между шнуром и направлением движения будет изменяться при движении и, т. о., пропорциональность будет нарушена. Коэфф. ходоуменьшения ν равен коэфф-ту механич. подобия, т. е. отношению линейных размеров двух любых подобных частей механизма (в дальнейшем мы считаем всегда меньшей части к большей, т. е. $\nu < 1$). Роликовый ходоуменьшитель, пользующийся значительным распространением, состоит из большого легкого барабана, на который навивается шнур, прикрепленный непосредственно к крейцкопфу; этот барабан сидит на одном валу с малым роликом, на к-рый наматывается шнур, приводящий в движение И. В большом барабане помещается спиральная пружина, служащая для натяжения шнура; маленький ролик делают сменным, различных диаметров, для того чтобы при различных ходах поршня индицируемого двигателя получить оптимальную длину индикаторной диаграммы. Коэфф-т ходоуменьшения равен отношению диаметров ролика и барабана. Роликовые ходоуменьшители, в виду их значительной массы и затруднений при надевании шнура непосредственно на двигающийся с большой быстротой стержень крейцкопфа, обычно не применяются при числах оборотов свыше 500 в мин. При индицировании двигателей внутреннего сгорания, не имеющих штока и крейцкопфа, с механизмом, часто совершенно закрытым в картере, приходится осуществлять привод барабана И. от какой-либо части двигателя, вращающейся со скоростью коренного вала и жестко с ним связанной. При этом, однако, необходимо, чтобы механизм, превращающий вращательное движение в переменновозвратное, был механически подобен кривошипно-шатунному механизму двигателя и, в частности, чтобы отношение длины шатуна к плечу кривошипа было одинаковым как у двигателя, так и у приводного механизма. В настоящее время часто уже при проектировании двигателей предусматривают приводный механизм для индикатора.

Испытание И. Как всякий контрольный прибор, И. должен от времени до времени подвергаться проверке. Проверяют отдельно правильность работы передаточного (регистрирующего) механизма И., т. е. пропорциональность отклонений карандаша и перемещений поршня И., и масштаб индикаторной пружины в горячем или в холодном состоянии; попутно определяют величину трения W, выраженную в единицах давления. Наиболее существенным является определение масштаба пружины И., к-рое производят в специальных аппаратах, подобных изображенным на фиг. 18. Нагрузка совершается грузами, тарированными таким образом, что каждая гиря соответствует давлению 0,5 *atm* или 1,0 *atm* на нормальный поршень (при поршне в 20 *мм*—$\frac{\pi}{2}$ и π *кг*, при поршне 20, 27 *мм*—соответственно 1,613 и 3,226 *кг*). Для испытания пружин на сверхдавление И. ввинчивают в нижнее гнездо перекладины (фиг. 18, а) и последовательно нагружают через 1 или 0,5 *atm*, смотря по масштабу пружины, при чем каждый раз проводят вращением барабана горизонтальную черту на натянутой на нем бумаге; после полной нагрузки совершают таким же порядком разгрузку, отмечая снова положения карандаша. Для определения масштаба пружины при вакууме И. ввинчивают в верхнее гнездо перекладины (фиг. 18, б) и нагружают гирями, соответствующими давлениям 0,1 *atm*. По окончании испытаний снимают бумагу с отметками и определяют средний масштаб одним из



Фиг. 18.

следующих 4 способов. Обозначим давления $p_1, p_2, \ldots, p_n$, соответствующие им ординаты, полученные при нагрузке, через $h_1', h_2', \ldots, h_n'$, а при разгрузке—$h_1'', h_2'', \ldots, h_n''$. Средняя величина трения механизма И., выраженная в ординате диаграммы:

$$h_w = \frac{(h_1'' - h_1') + (h_2'' - h_2') + \cdots + (h_n'' - h_n)}{2n}. \quad (15)$$

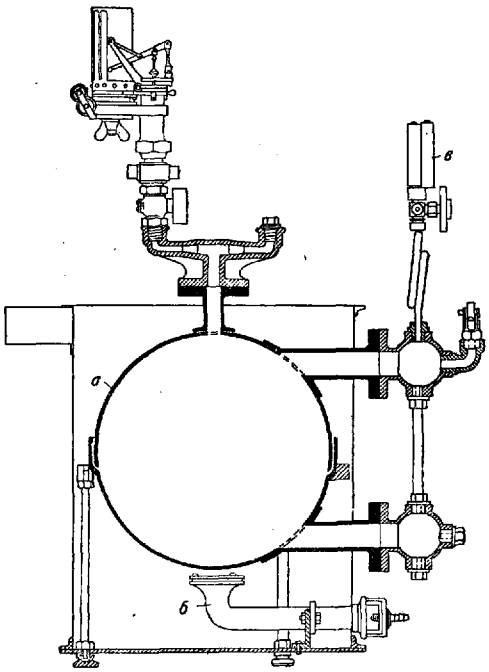
Определяем средние ординаты

$$h_1 = \frac{h_1' + h_1''}{2}; \; h_2 = \frac{h_2' + h_2''}{2}; \; \ldots \; h_n = \frac{h_n' + h_n''}{2};$$

тогда средний масштаб ординат μ, т. е. величина ординаты, соответствующая давлению 1 *atm*:

$$\left.\begin{aligned} &\mu = \frac{1}{n}\left(\frac{h_1}{p_1} + \frac{h_2}{p_2} + \cdots + \frac{h_n}{p_n}\right), \\ &\text{или} \\ &\mu = \frac{1}{n-1}\left(\frac{h_2 - h_1}{p_2 - p_1} + \frac{h_3 - h_2}{p_3 - p_2} + \cdots + \frac{h_n - h_{n-1}}{p_n - p_{n-1}}\right), \\ &\text{или} \\ &\mu = \frac{h_n}{p_n}, \\ &\text{или} \\ &\mu = \frac{h_1 + h_2 + \cdots + h_n}{p_1 + p_2 + \cdots + p_n}. \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

При правильно работающем И. величины μ, вычисленные по этим четырем методам, различаются между собой весьма мало (0,1—0,3 %); более сильные расхождения указывают на неисправное состояние И. При работе И. с внутренней (горячей) пружиной вследствие изменения $t°$ изменяются диаметр поршня и размеры пружины, а также и модуль упругости; т. о., тарировка этих И., произведенная в холодном состоянии,



Фиг. 19.

может сильно расходиться с действительными показаниями аппарата при высокой $t°$. Для возможности испытания И. в условиях, близких к их нормальной работе, аппараты для испытания снабжают добавочным патрубком, позволяющим производить обогревание И. паром, получаемым из небольшого котла, или же производят нагрузку поршня не грузами, а непосредственно паром, получаемым в особом котле *а* (фиг. 19); котел нагревается газовой горелкой *б* и снабжен обычной арматурой; манометр *в*, служащий для определения величины действительного давления в котле, д. б. особенно точным. Тарировку производят тем же способом, что и выше, путем постепенного нагревания и охлаждения котла. Для измерения $t°$ внутри И. удаляют крышку и заменяют ее термометром особой конструкции. При отсутствии возможности тарировать И. в горячем состоянии можно воспользоваться следующей ф-лой, дающей зависимость между масштабами холодного и горячего (μ и μ_1) И. в зависимости от темп-ры t внутри последнего:

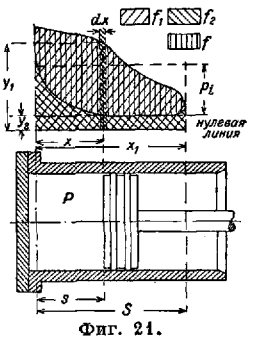


Фиг. 20.

$$\mu_1 = \mu\,[1 + 0{,}0004\,(t - 20)].$$

Считая среднюю $t°$ внутри И. при индицировании паровой машины ок. 120°, имеем $\mu_1 = 1{,}04\,\mu$, т. е. ошибка достигает 4%. Для проверки правильности работы пишущего механизма независимо от пружины служит прибор, состоящий из микрометрич. винта, гайка к-рого ввинчивается в гнездо И., а винтом, после удаления пружины, поднимают поршень И. на определенную величину и отмечают соответственное положение карандаша. Зная фактический ход поршня и измеряя соответств. передвижение карандаша, проверяют степень пропорциональности обоих движений при различных положениях поршня. Для той же цели служит набор втулок различной длины с нарезками на концах, одинаковыми с нарезками гнезд индикаторных пружин (фиг. 20); ввинчивая их последовательно вместо пружины, заставляют поршень принимать различные, строго определенные положения.

Индикаторная диаграмма. Нормальная индикаторная диаграмма (фиг. 21) представляет собой, после учета и исправления всех ошибок, в соответственном масштабе кривую давлений в рабочем цилиндре машины в зависимости от положения крейцкопфа или, что то же, поршня. Работа поршня двигателя простого действия на бесконечно малом участке пути ds, на котором давление p можно считать постоянным, $dA = F \cdot p \cdot ds$ (где F—площадь поршня двигателя), или за один рабочий цикл:



Фиг. 21.

$$A = F\left[\int_0^S p_1 \cdot ds + \int_S^0 p_2 \cdot ds\right] =$$

$$= F\left[\int_0^S p_1 \cdot ds - \int_0^S p_2 \cdot ds\right],$$

а т. к. $p=\frac{y}{\mu}$, а $s=\frac{x}{\nu}$, где ν—коэффициент ходоуменьшения, то

$$A=\frac{F}{\mu\cdot\nu}\left[\int_0^{x_1}y_1dx-\int_0^{x_1}y_2dx\right]=\frac{F}{\mu\nu}\cdot(f_1-f_2), \quad (17)$$

где f_1—площадь, ограниченная верхней кривой диаграммы и двумя крайними ординатами, а f_2—площадь, ограниченная нижней кривой и теми же ординатами; называя площадь самой диаграммы через f и замечая, что $f=f_1-f_2$, имеем окончательно:

$$A=\frac{F}{\mu\cdot\nu}\cdot f. \quad (18)$$

Из ф-лы (18) видно, что площадь диаграммы выражает собой в известном масштабе работу двигателя за один рабочий цикл. При этом, однако, надо всегда иметь в виду, что площадь эта получена как разность площадей при прямом и обратном ходе поршня; т. о., площади петель *a* на диаграммах 5, 6, 7, 24 (см. таблицу) д. б. вычтены из площади остальной части диаграммы. Для вычисления мощности двигателя бывает удобнее заменить индикаторную диаграмму фиктивной, представляющей собою прямоугольник с основанием S, равным ходу поршня, и с постоянной высотой, равной p_i—среднему индикаторному давлению; тогда работа поршня за один цикл

$$A=F\cdot S\cdot p_i. \quad (19)$$

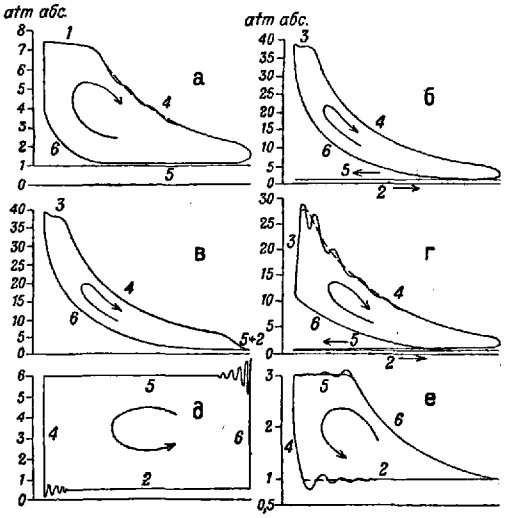
Мощность двигателя L равна работе, совершаемой им в единицу времени, т. е. $L=\frac{A}{T}$, где T—продолжительность одного цикла в секунду, равная $\frac{60\cdot m}{n\cdot 2}$, n—число об/м. машины, а m—общее число ходов поршня за один цикл. Подставляя эти выражения в уравнение (19) и приводя единицы к *кгм/сек*, имеем:

$$L=\frac{n}{30\,m}\cdot F\cdot S\cdot p_i, \quad (20)$$

где S—в *м*, F—в *см*², p_i—в *кг/см*², n—об/м. Называя $v=\frac{2S\cdot n}{60}$ средней скоростью поршня, получаем окончательно мощность N_i в IP:

$$N_i=\frac{1}{75}\cdot F\cdot p_i\cdot\frac{v}{m}. \quad (21)$$

Все приведенные ф-лы относятся к двигателям простого действия; двигатели двойного действия, напр. обыкновенная паровая машина, д. б. рассматриваемы как два двигателя простого действия, сидящие на общем штоке; мощность ее получается суммированием мощностей отдельно для передней и задней полостей цилиндра. На фиг. 22 (стрелки внутри диаграмм обозначают направление прохождения цикла) изображены нормальные индикаторные диаграммы паровой машины (а), четырехтактного двигателя Дизеля (б), двухтактного двигателя Дизеля (в), четырехтактного газового двигателя (г), водяного насоса (д) и компрессора (е). Эти диаграммы отражают в себе все происходящие в цилиндре двигателя процессы (отдельные фазы обозначены следующими цифрами: *1*—наполнение, *2*—засасывание, *3*—горение или взрыв, *4*—расширение, *5*—выталкивание и *6*—сжатие). В четырехтактных двигателях внутреннего сгорания часть нормальной диаграммы, относящаяся к периоду выталкивания сгоревших газов и засасывания смеси, настолько сжата по высоте в виду незначительности возникающих при этом давлений, что она не дает никаких указаний относительно работы органов распределения



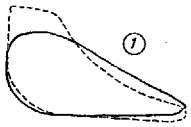
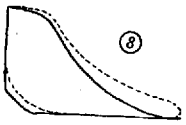
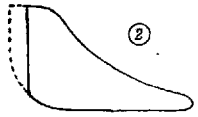
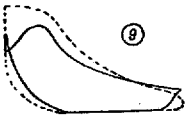
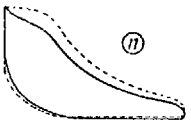
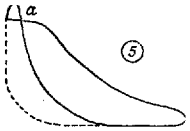
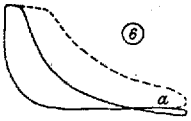
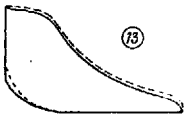
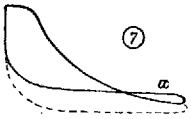
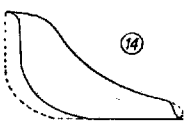
Фиг. 22.

за эти две фазы. Для получения ясной картины хода этих процессов снимают диаграмму со слабой пружиной; при этом верхняя часть не выходит совершенно, так как шток поршня И. упирается своим ободком в ограничитель хода, зато нижняя часть диаграммы выступает очень рельефно и дает возможность проверить продувку цилиндра. Равным образом на нормальных индикаторных диаграммах двигателей внутреннего сгорания нельзя с достаточной степенью точности проследить процессы, протекающие около мертвых точек, в виду малой скорости поршня, а следовательно, и сильной сжатости абсцисс диаграммы по времени. Путем снятия т. н. смещенных диаграмм (фиг. 23) можно с достаточной точностью исследовать процессы воспламенения и горения, протекающие вблизи мертвого положения поршня. Для получения такой диаграммы необходимо движение барабану И. сообщать не от поршня или связанной с ним детали индицируемого двигателя, а от ползуна, приводимого в движение от коренного вала кривошипно-шатунным механизмом с углом опережения в 90° относительно кривошипа индицируемого цилиндра. В многоцилиндровых двигателях с кривошипами под 90° для этой цели м. б. использован другой цилиндр, иначе неизбежно устройство специального приводного приспособления. Описанные выше роды диаграмм носят название замкнутых; из них только нормальная пригодна для вычисления мощности двигателя непосредственно по ее площади.

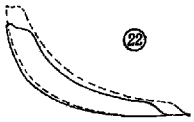
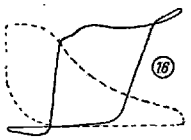
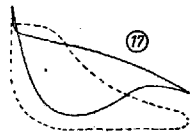
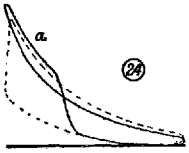
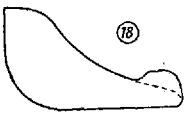
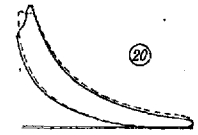
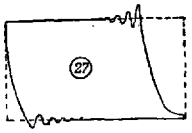
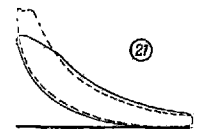
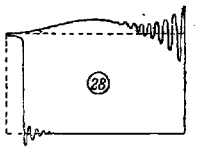


Фиг. 23.

Таблица неправильностей индикаторных диаграмм

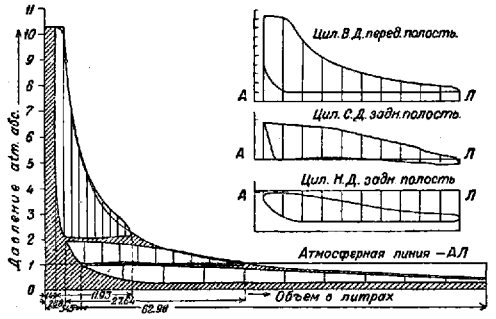
Диаграмма	Отступление от нормы и причина	Диаграмма	Отступление от нормы и причина
	Скругление резких переходов и отставание всех процессов: сильное мятие пара как следствие длинных и узких каналов между И. и цилиндром машины		Линии сжатия и расширения проходят много ниже нормальных, при чем разница постепенно возрастает: утечка пара через весьма неплотный выпускной орган
	Часть диаграммы по длине срезана: индикаторный шнур слишком длинен; барабан упирается в ограничитель хода до того, как успеет совершить полный ход		В конце линии сжатия имеется петля—линия расширения пересекает нормальную: сжатие начинается слишком рано, впуск и выпуск—слишком поздно, паровпускной орган неплотен
	Отсутствие закруглений при переходах линий; колебания поршня не располагаются по обе стороны линии равномерно: сухое трение поршня И. или попавший в цилиндр И. песок		Сильное искажение индикаторной диаграммы вследствие ошибки в установке эксцентрика: все процессы сдвинуты в направлении запаздывания
	Диаграмма прервана в двух местах по высоте: карандаш выступает слишком далеко назад и задевает за рычаги пишущего механизма		Быстрое падение давления в период впуска, линия выпуска лежит частью ниже нормальной: влияние инерции паровых масс во впускной и выпускной трубах
	Диаграмма образует петлю в конце линии сжатия: слишком высокое сжатие, обусловленное ранним закрытием паровыпускного канала		Линия расширения вначале идет ниже теоретической, под конец—выше, линия выпуска выше нормы: неплотный поршень машины, перепускание пара из соседней полости цилиндра
	Диаграмма образует петлю в конце линии расширения: общая степень расширения слишком велика для данной машины, период впуска пара слишком мал		Линии расширения и сжатия лежат по всей длине ниже соответствующих адиабат: небольшая неплотность парораспределительного органа; цилиндр все время сообщается с выпуском
	Диаграмма образует петлю в начале линии выпуска (машина с конденсацией): противодавление выпуска очень велико, значительное мятие при выпуске или плохой вакуум		Линия сжатия проходит выше нормальной, в начале линий впуска и выпуска имеются острые углы: впуск открывается, а выпуск открывается и закрывается слишком рано

с указанием причин отклонений их от нормы.

Диаграмма	Отступление от нормы и причина	Диаграмма	Отступление от нормы и причина
	Линия расширения в начале проходит немного ниже, а под конец—выше нормальной, линия выпуска—вогнутая: конденсация пара при впуске и испарение конденсата при расширении; сильное мятие при выпуске		Линии расширения, сжатия и горения лежат ниже, а линия выпуска—левее нормы: неправильный ход процессов вследствие слишком раннего открытия и позднего закрытия выхлопных окон
	Полное искажение диаграммы вследствие неправильной установки органов парораспределения: впуск и выпуск сильно запаздывают, полное отсутствие расширения и сжатия пара		Линия взрыва идет слишком наклонно, вначале имеется острый угол, значительные колебания И.: зажигание сильно запаздывает, число оборотов для данного И. слишком велико
	Полное искажение диаграммы: впуск продолжается слишком долго, выпуск открывается поздно и мало, сжатие слишком высоко вследствие высокого начального давления		В конце линии сжатия имеется большая петля: слишком раннее (непроизвольное) зажигание в середине хода сжатия; полезная работа цикла почти равна нулю
	Диаграмма в общем нормальная, лишь в конце расширения давление внезапно возрастает: впуск пара—в конце хода, слишком короткий вспомогательный золотник Мейера		Линия сжатия лежит ниже, линия расширения—выше нормальных, давление всасывания вначале ниже нормы: объем вредного пространства очень велик, всасывающий клапан туго открывается
	Линия горения ограничена прямой с резкими углами по концам: взята слишком слабая пружина И., так что поршень его останавливается упоркой, не достигнув максимального давления		Линии сжатия и расширения идут выше нормальных, конец линии сжатия поднят: нагнетательный клапан неплотно закрывается, сжатый газ непрерывно вытекает в цилиндр
	Линия горения резко поднимается, линии расширения и сжатия лежат ниже нормы: слишком бурное сгорание, клапан или поршень неплотны		Линии сжатия и расширения имеют характер гипербол, в начале линии сжатия острый угол: в цилиндре насоса имеется воздух; всасывающий клапан не сразу закрывается
	Линия горения сильно понижается, линия расширения постепенно превышает нормальную: медленное впрыскивание топлива и догорание его при расширении, выхлоп закрывается поздно		Линия выпуска выгнута вверх, в конце ее острый угол, в начале—сильные колебания И.: напорный клапан туго открывается и не сразу закрывается, слишком малое сечение выхода

числу оборотов и размерам двигателя. Для специальных исследований бывает иногда желательно по оси абсцисс откладывать не положения поршня, а другие величины, связанные с работой двигателя, например угол поворота коренного вала. В этом случае диаграмма примет вид, изображенный на фиг. 6. Другие разновидности открытых диаграмм м. б. получены, если диаграммной бумаге дать постоянную скорость движения (диаграмма: давление—время), если перемещение бумажной ленты сделать пропорциональным сумме перемещений поршня, откладываемых все время в одном направлении (открытая диаграмма: давление—путь поршня), и т. д.

В паровых машинах с несколькими ступенями расширения (или сжатия—в компрессорах), в к-рых одно количество пара работает последовательно в нескольких цилиндрах, для исследования суммарной работы данного количества пара при прохождении через машину прибегают к так наз. ранкинизированию диаграмм. Для этого перечерчивают индикаторные диаграммы последовательно проходимых паром сторон цилиндров машины (напр. передней стороны цилиндра высшего давления, задней стороны цилиндра среднего давления и передней стороны цилиндра низкого давления), приведя их к одному вертикальному масштабу и изменяя горизонтальный масштаб пропорционально объемам отдельных цилиндров



Фиг. 24.

(фиг. 24). Измененные т. о. диаграммы вычерчивают вместе, на общих осях координат, при чем абсциссы мертвых точек впуска делают равными величинам вредных пространств соответственного цилиндра в принятом для него масштабе объемов. Обыкновенно для сравнения общей работы данного объема пара с т. н. теоретической проводят адиабату, изображаемую равнобочной гиперболой и ограничивающую теоретическую индикаторную диаграмму. Для построения этой линии достаточно, кроме осей координат, являющихся ее асимптотами, знать одну ее точку. Существует несколько способов отыскания ее: 1) если известен расход пара на один цикл, то, вычисляя его объем при начальных условиях впуска в цилиндр высокого давления, откладывают его в соответствующих координатах; 2) берут на-глаз или по диаграмме парораспределения точку конца впуска в цилиндр высокого давления и проводят гиперболу через нее. Отношение суммы площадей ранкинизированных диаграмм к площади, ограниченной давлением впуска, адиабатой, наибольшим объемом занятого паром пространства в цилиндре низкого давления и обеими осями координат, называется коэфф-том полноты диаграмм и служит до известной степени мерилом использования энергии пара в машине. Строго говоря, ранкинизирование применимо лишь для того случая, когда одно количество пара, не увеличиваясь и не уменьшаясь, протекает через несколько цилиндров; т. о., для машин с большими ресиверами ранкинизирование является приближенным способом. Как видно из вышесказанного, индикаторная диаграмма является действительным средством для выяснения ошибок и неисправностей функционирования двигателей. В приводимой таблице дан ряд примерных индикаторных диаграмм, взятых из практики, с указанием их отступлений от нормальных и причин, вызвавших эти неправильности.

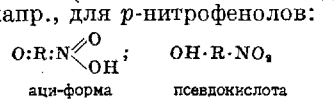
Лит.: Грамберг А., Технич. измерения и испытания машин, т. 1, вып. 5—Индикатор, пер. с нем., М., 1926; Берштадский Л. Я., Руководство при практич. пользовании индикатором, счетчиком мощности и регистратором нагрузки, М., 1926; Хедер Г., Индикатор, пер. с нем., М., 1903; Brand J. u. Seufert F., Technische Untersuchungsmethoden z. Betriebsüberwachung, 5 Aufl., B., 1926; Staus A., Der Indikator u. seine Hilfseinrichtungen, B., 1911; Haeder H., Der Indikator u. die Kraftanlage, 3 Aufl., B., 1928; Wilke W., Der Indikator u. das Indikatordiagramm, Lpz., 1916 (им. лит. до 1915 г.); Low F. R., Steam Engine Indicator, N. Y., 1910; «Z. d. VDI», 1921, B. 65, p. 973; ibid., 1922, B. 66, p. 298, 326, 740; ibid., 1923, B. 67, p. 814; ibid., 1924, B. 68, p. 477, 811; «Ztschr. f. Instrumentenkunde», B., 1928, B. 48, p. 14; «Mechanical Engineering», N. Y., 1927, v. 49, p. 543, 1312; «Engineering», L., 1927, v. 124, p. 253; ibid., 1922, v. 113, p. 716; ibid., 1923, v. 115, p. 31, 210; «Automotive Industries», Philadelphia, 1921, v. 45, p. 471; ibid., 1928, v. 59, p. 78; «Automobile Engineer», L., 1923, v. 13, p. 150, 250; «Auto-Technik», B., 1923, Jg. 12, p. 19, 23; ibid., 1927, Jg. 16, *16*, *19*, *20*, *22*; «Mechanical World», Manchester, 1928, v. 83, p. 400, 436; «Motorwagen», B., 1923, Jg. 26, p. 88; ibid., 1928, Jg. 31, p. 10; «Autocar», L., 1924, v. 53, p. 1023; «Motorship», L., 1924, v. 5, p. 256; «Forschungshefte der Auto-Technik», B., 1925, H. 2; «Technical Report of the Aeronautical Research Committee for the Year 1926/27», London, 1928, p. 137; «Oil Engine Power», Washington, 1928, v. 6, p. 815.

Л. Павлушков.

ИНДИКАТОРЫ в химии, вещества, прибавляемые в весьма незначительном количестве к раствору одного из участвующих в реакции веществ для того, чтобы при помощи цветной реакции установить конец (или в нек-рых случаях начало) процесса, протекающего между этим веществом и другим, прибавляемым к нему при титровании (см. *Анализ химический*). Особенно важное значение имеют применяемые в ацидиметрии и алкалиметрии кислотно-щелочные И. В качестве последних находят применение многие естественные и синтетич. красящие вещества (см. *Спр. ТЭ*, т. I, стр. 445), отличающиеся способностью изменять свою окраску при перемене активной кислотности среды, в которой они растворены. Последнее обстоятельство обусловливает широкое применение таких И. для измерения концентрации водородных ионов по индикаторному способу.

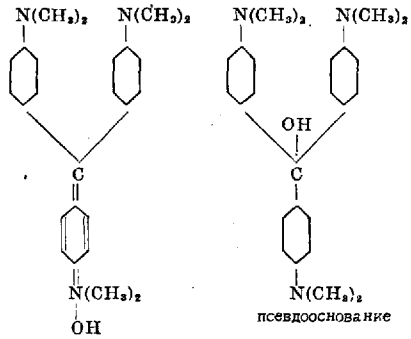
Вильгельм Оствальд разработал теорию кислотно-щелочных И. Они являются слабыми электролитами (кислотами или основаниями), при чем ионы их имеют окраску, отличную от окраски недиссоциированных молекул. Прибавление к-т или соответствен-

но щелочей к раствору, в к-ром присутствует И., оказывает существенное влияние на ионизацию последнего, а следовательно, на его окраску, которая, по Вильгельму Оствальду, зависит от заряда иона И., подобно тому как заряд иона манганата обусловливает его окраску, отличную от окраски перманганата, имеющего неодинаковый с ионом манганата заряд. Однако, в виду того, что нек-рые индикаторные реакции протекают в течение измеримого промежутка времени (тогда как ионные реакции должны были бы протекать мгновенно), а также в силу нек-рых других возражений, выставленных против теории Оствальда,—этой теории была противопоставлена химич., т. н. хромофорная теория, предложенная Ганчем (Hantzsch). Последний на примере некоторых нитросоединений и нитрофенолов, также служащих И., равно как и на других примерах, показал, что И. в зависимости от условий могут принимать форму двух неодинаково окрашенных изомеров. Такой изомеризацией и объясняется, по мнению Ганча, перемена окраски И. Так, нитросоединения могут иметь две изомерные формы: аци-форму (или, соответственно, базо-форму) и форму псевдокислоты (соответственно—псевдооснования); напр., для *p*-нитрофенолов:



аци-форма псевдокислота

Аналогичная изомеризация наблюдается и у основного красителя, каким является кристаллвиолет:



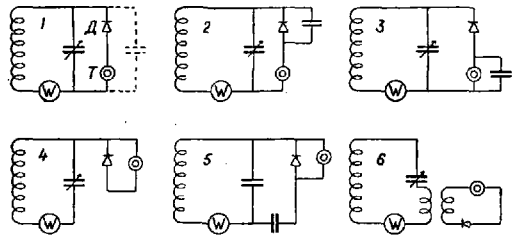
Параллельно с протекающей во времени изомеризацией, сопровождаемой переменой окраски, изменяется и электропроводность раствора, содержащего смесь обеих форм И. С точки зрения Кольтгоффа хромофорная теория не дает объяснения перехода окраски, но указывает лишь на явление, которое протекает одновременно с изменением окраски. Вместе с изменением окраски изменяется также и строение; однако, это само по себе не может служить причиной изменения окраски. Такой причиной является равновесие между ионогенной аци-формой и нормальной псевдоформой данного соединения, применяемого в качестве И.; установление же этого равновесия является процессом уже не ионного характера, в отличие от ионного процесса диссоциации одной из обеих форм И. (именно, ионной формы). Поэтому константа диссоциации (см. *Диссоциация электролитическая*) И. является кажущейся константой (см. *Концентрация водородных ионов*), слагающейся из истинной константы диссоциации ионогенной формы И. и константы равновесия между обеими изомерными формами И. (аци-формой и псевдоформой). Такая точка зрения согласует между собой обе теории И.: ионную—Оствальда и хромофорную—Ганча.

Кроме поименованных двух теорий И. Вольфгангом Оствальдом была еще предложена коллоидная теория, сводящая изменение окраски И. к изменению степени дисперсности его коллоидальных частиц. Однако, эта последняя теория, недостаточно подтвержденная фактами, не может объяснить многообразия явлений, связанных с изменениями окраски И. под влиянием ионов водорода и гидроксила. Во всяком случае, каждому красителю, могущему иметь применение в качестве кислотно-щелочного И., свойственна определенная область изменения окраски, выраженная в единицах $P_н$ (см. *Водородные ионы*). В зависимости от положения этой области на всей шкале значений $P_н$, а также в зависимости от раздвинутости пределов этой области, И. может иметь большее или меньшее применение для целей титрования. Однако, именно эта специфичность положения области перемены окраски для различных И. позволяет применять различные И. с целью определения концентрации водородных ионов различных растворов, встречающихся в биологических и технологич. объектах исследования, и служит поэтому основанием для индикаторного метода определения концентрации водородных ионов. Подробный перечень применяемых в качестве И. химич. соединений и природных красителей, равно как и подробности о их применении,—см. *Спр. ТЭ.*, т. I, стр. 445. О методике измерения $P_н$ индикаторным методом — см. *Концентрация водородных ионов*.

Лит.: Кольтгофф И. М., Применение цветных индикаторов к нейтрализационному анализу и к колориметрич. определению концентрации водородных ионов, пер. с нем., 3 изд., Л., 1929; Леманн Г., Измерение концентрации водородных ионов, пер. с нем., М.—Л., 1929; Мисловицер Е., Определение концентрации водородных ионов в жидкостях, перевод с нем., Ленинград (печатается); Clark W. M., The Determination of the Hydrogen Ions, Baltimore, 1925. **Б. Беркенгейм.**

ИНДИКАТОРЫ резонанса, приборы, измеряющие, хотя бы и относительно, силу тока, т. к. при резонансе сопротивление контура минимальное (равное его активному сопротивлению) и ток достигает в этот момент наибольшего значения. Главнейшие из этих приборов следующие. 1) Тепловой амперметр (миллиамперметр), который включается или последовательно в контур *волномера* (см.) или параллельно нескольким виткам катушки самоиндукции волномера. Т. к. показания теплового амперметра пропорциональны квадрату силы тока, проходящего через него, или, что то же, потерям на джоулев эффект в самом приборе, то шкала амперметров волномера градуируется обыкновенно на квадрат силы тока, и самый прибор называется в этом случае *ваттметром* (см.). Момент резонанса соответствует наибольшему показанию прибора. 2) Кри-

сталлический детектор с телефоном. Схемы приключения его к волномеру указаны на фиг.; относительная слышимость их такова: схема № 1—55, № 2—85, № 3—45, № 4—10, № 5—40, № 6—15. Схема № 6 применяется при больших токах в контуре, при чем детектор с телефоном *можно заменить тепловым амперметром.*



Схемы № 6 и 4 удобны тем, что сопротивление детекторного контура не влияет на колебательный контур. Из других схем наибольшее затухание в контур волномера вносит схема № 3, а наименьшее—схема № 5. Схема № 1 обладает тем недостатком, что емкость соединительных (к телефону и детектору) проводов, а также и емкость самого телефона, включается параллельно емкости волномера и вносит тем самым искажения в его показания. Этот недостаток полностью исключается в схеме № 4. Во всех схемах момент резонанса отмечается наиболее сильным звуком в телефоне. 3) Кристаллический детектор с гальванометром постоянного тока. Приключение к волномеру происходит или по схеме № 1 или по схеме № 6, где телефон заменяется гальванометром. Показания гальванометра пропорциональны постоянной составляющей тока детекторной цепи, и оно наибольшее в момент резонанса. 4) Термогальванометр (термоамперметр), к-рый представляет собой термопару в соединении с чувствительным гальванометром постоянного тока. Включается термогальванометр (термоамперметр) в контур вместо ваттметра или непосредственно (при слабых колебаниях) или через трансформатор тока (при сильных колебаниях). Момент резонанса отмечается наибольшим показанием гальванометра. 5) Гелиева трубка, к-рая приключается параллельно зажимам конденсатора волномера. В момент резонанса, если напряжение на конденсаторе будет надлежащей величины, трубка вспыхивает розовым светом. Применения И. резонанса и литературу о них см. *Измерения в радиотехнике.* **Д. Конашинский.**

ИНДОЛ, бензопиррол, C_8H_7N, соединение, содержащее в молекуле бензольное кольцо, конденсированное с пиррольным. Индол образует бесцветные листочки с $t°_{пл.}$ 52,5° и $t°_{кип.}$ 257°; легко растворяется в воде, летуч с водяными парами; отличается характерным фекальным запахом, но после тщательной очистки и при достаточном разведении приобретает довольно приятный запах; при действии кислот осмоляется и полимеризуется; со щелочными металлами дает металлич. производные. Подобно пирролу, И. дает цветные реакции; так, сосновую лучинку, смоченную крепкой HCl, И. окрашивает в ярковишневый цвет. И. легко окисляется и переходит через ряд промежуточных соединений в *индиго* (см.).

Небольшие количества И. находятся в человеческих экскрементах, а также образуются при гниении белковых веществ вместе со скатолом (*β*-метилиндолом); наряду с этим *следует отметить присутствие И. в некоторых* эфирных маслах (жасминном, неролиевом); более значительные количества И. находятся в тяжелых маслах (фракции, кипящие при 220—260°) каменноугольного дегтя, откуда его и добывают: тяжелые масла освобождают от фенолов и сильных оснований, после чего их нагревают с натрием или с амидом натрия до 250°; образующийся при этом натрий-индол отделяют механически и разлагают водой.

И. находит ограниченное применение в парфюмерии, в приготовлении синтетических душистых веществ.

ИНДОФЕНОЛЫ, продукты умеренного окисления производных диоксидифениламина.

I. $OH-C_6H_4-N=C_6H_4=O$

II. $NH_2-C_6H_4-N=C_6H_4=O$

III. $NH_2-C_6H_4-N=C_6H_4=NH$

Простейший И. имеет строение (I), с возможной осцилляцией двойной связи. Вместе с инданилинами (II) и индаминами (III), продуктами окисления производных аминооксидифениламина и диаминодифениламина, И. являются производными хинонмоно- и хинондиамина (см. *Хиноны*). В последнее время термин инданилин заменили И., придав, т. о., последнему более широкое значение. Все эти продукты—интенсивно окрашенные тела, дающие соли в случае индаминов с к-тами и в случае И. со щелочами; они весьма нестойки в кислой среде и разлагаются на производные хинонов и аминов. Первый простейший индамин был получен в 1877 г. Нецким (Nietzki) [1] при действии на молекулярную смесь *n*-фенилендиамина и анилина строго теоретич. количеством окислителя. Процесс необходимо вести при сильном перемешивании смеси и при возможно низкой $t°$. При замене амина фенолом в продукте реакции получается И. Для получения И. более употребителен метод конденсации нитрозопродуктов с амином или фенолами, при чем конденсирующим агентом является крепкая серная к-та, и конденсация ведется при наружном охлаждении до −20° [2]. И.—важные промежуточные продукты для синтеза красящих веществ, преимущественно азиновых, оксазиновых, тиазиновых и сернистых. Самостоятельное же значение имеет лишь И. строения

$O=C_6H_4=N-C_6H_4-N(CH_3)_2$,

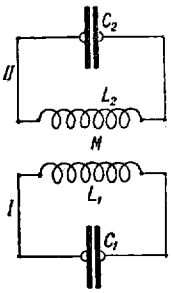
к-рый является дешевым сурвогатом индиго [3], т. к., подобно последнему, дает растворимый куб, но не обладает выдающейся прочностью индиго. Механизм получения И. еще не вполне ясен, и для его выяснения предложено несколько теорий [4—6].

Лит.: [1]) «B», B. 10, p. 1157; [2]) Lange O., Schwefelfarbstoffe, ihre Herstellung u. Verwendung, 2 Aufl., Lpz., 1925; [3]) Г. П. 15917; Friedlaender P., Fortschritte d. Teerfabrikation und verwandter Industriezweige, T. 1, p. 283, B., 1920; [4]) Bucherer H. Th., Lehrbuch d. Farbenchemie, 2 Aufl., Lpz., 1921;

[5]) Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, B., 1926; [6]) Ворожцов Н. Н., Основы синтеза красителей, М.—Л., 1925; [7]) его же, Ступени в синтезе красителей, Л., 1926. **И. Иоффе.**

ИНДУКТАНЦ, индуктивное сопротивление цепи, произведение из индуктивности цепи на круговую частоту синусоидального тока, проходящего в цепи; обозначается: $x=L\omega$. Индуктанц—частное обозначение реактивного сопротивления для того случая, когда влияние индуктивности цепи преобладает над влиянием емкости, т. е. для того случая, когда ток отстает от напряжения. Если преобладает влияние емкости, то реактивное сопротивление называется емкостным, или капацитанцем.

ИНДУКТИВНАЯ СВЯЗЬ, взаимодействие двух контуров при помощи самоиндукции или взаимоиндукции, общей или взаимной для обоих контуров; частным случаем И. с. (при помощи самоиндукции) является *автотрансформаторная связь* (см.). И. с. часто называется также трансформаторной, магнитной; это—наиболее часто встречающийся в электротехнике и радиотехнике вид *связи* (см.); о применениях И. с. в электротехнике (почти всегда связанных с ферромагнитными механизмами) см. *Трансформатор*. Коэффициент связи для И. с.



Фиг. 1.

$$k=\frac{M}{\sqrt{L_1L_2}},$$

при обозначениях согласно фиг. 1.

И. с. при возбуждении незатухающими вынужденными колебаниями (фиг. 2). Вследствие обратного воздействия вторичной цепи на первичную результирующее сопротивление R_1' первичной цепи (кажущееся сопротивление) увеличивается:

$$R_1'=R_1+\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\cdot R_2,$$

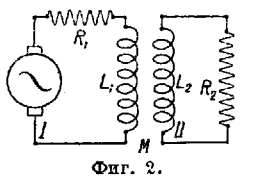
где

$$Z_2=\sqrt{R_2^2+\omega^2L_2^2}.$$

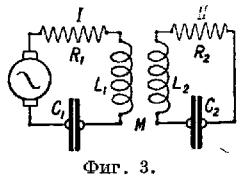
По тем же причинам коэффициент самоиндукции первичного контура уменьшается; его величина

$$L_1'=L_1-\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\cdot L_2.$$

В том случае, если И. с. имеет место между двумя контурами, включающими, кроме R и L, также и C (емкость), то величина кажущегося сопротивления (фиг. 3) остается той же, как и выше, но



Фиг. 2.



Фиг. 3.

$$Z_2=\sqrt{R_2^2+\left(\omega L_2-\frac{1}{\omega C_2}\right)^2},$$

самоиндукция же выражается ф-лой:

$$L_1'=\left(L_1-\frac{1}{\omega^2C_1}\right)-\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\left(L_2-\frac{1}{\omega^2C_2}\right).$$

В этом случае получаются зависимости между токами i_1 и i_2 в виде

$$i_1=\frac{E}{\sqrt{A^2+\omega^2\left[\left(L_1-\frac{1}{\omega^2C_1}\right)-\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\left(L_2-\frac{1}{\omega^2C_2}\right)\right]^2}}$$

и

$$i_2=\frac{E}{Z_2\cdot\sqrt{A+\omega^2\left[\left(L_1-\frac{1}{\omega^2C_1}\right)-\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\left(L_2-\frac{1}{\omega^2C_2}\right)\right]^2}},$$

где $A=R_1^2+\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2$. Токи i_1 и i_2 получают максимальное значение, когда множитель в квадратных скобках у второго слагаемого (в знаменателе выражений i_1 и i_2) превращается в нуль. В том случае, когда R_2 можно пренебречь по сравнению с $\omega L_2-\frac{1}{\omega C_2}$, условие максимума осуществляется при двух резонансных частотах

$$\omega'=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2-\sqrt{(\omega_1^2-\omega_2^2)^2+4k^2\omega_1^2\omega_2^2}}{2(1-k^2)}},$$

$$\omega''=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2+\sqrt{(\omega_1^2-\omega_2^2)^2+4k^2\omega_1^2\omega_2^2}}{2(1-k^2)}},$$

которые существуют одновременно в обоих контурах. Частные случаи: 1) $k\cong 1$; $\omega'\cong\sqrt{\frac{\omega_1^2\cdot\omega_2^2}{\omega_1^2+\omega_2^2}}$; $\omega''\cong\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2}{1-k^2}}$; 2) $k\ll 1$; $\omega'\cong\frac{\omega_2}{\sqrt{1+k^2}}$; $\omega''\cong\frac{\omega_1}{\sqrt{1-k^2}}$; 3) $\omega_1=\omega_2=\omega$ (случай резонанса между I и II контурами); $\omega'\cong\frac{\omega}{\sqrt{1+k}}$; $\omega''\cong\frac{\omega}{\sqrt{1-k}}$. Наилучшая связь, характеризующаяся максимальным значением i_2, получается из равенства $\frac{di_2}{dM}=0$ в виде $M=\frac{\sqrt{R_1\cdot R_2}}{\omega}$.

И. с. двух колебательных контуров. При схеме по фиг. 4 в каждом из контуров (с частотами: I—ω_1, II—ω_2) существуют одновременно два колебания с частотами

$$\omega'=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2+\sqrt{(\omega_1^2+\omega_2^2)^2-4\omega_1^2\omega_2^2(1-k^2)}}{2(1-k^2)}},$$

$$\omega''=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2-\sqrt{(\omega_1^2+\omega_2^2)^2-4\omega_1^2\omega_2^2(1-k^2)}}{2(1-k^2)}},$$

при чем часто $\omega'<\omega_1$; $\omega''>\omega_2$.

Коэфф. связи k определяется выражением:

$$k^2=\frac{\lambda_2^2-\lambda_1^2}{\lambda_2^2+\lambda_1^2}=\frac{\lambda_2^2-\lambda_1^2}{2\lambda^2}\cong\frac{\lambda_2-\lambda_1}{\lambda}.$$

Логарифмическ. декремент затухания частот связи в ф-ии от первоначальных первичного и вторичного контуров выражается так:

$$\delta'=\frac{\delta_1+\delta_2}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{1-k}},\quad \delta''=\frac{\delta_1+\delta_2}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+k}}.$$

При очень слабой связи $i_2'=i_2''=i_2$ и

$$i_{2res}^2=C\cdot 4\pi^2\frac{1}{\delta_1\delta_2(\delta_1+\delta_2)},$$

где C—постоянная, а i_{2res}—сила тока при резонансе; отсюда

$$\delta_1+\delta_2=2\pi\left(1-\frac{f_2}{f_1}\right)\sqrt{\frac{i_2^2}{i_{2res}^2-i_2^2}},$$

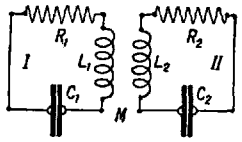
выражение, играющее большую роль при измерениях в радиотехнике.

Измерение коэффициента И. с. При обозначениях по фиг. 5, коэфф. связи

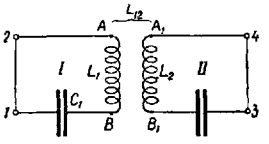
может быть определен измерением напряжений в различных точках схемы по формуле:

$$k = \sqrt{\frac{V_{12}}{V_1} \cdot \frac{V_{21}}{V_2}},$$

где $V_{12}=\omega i L_{12} I_1$—напряжение между точками A и B; ω—угловая частота; $V_1=i\omega L_1 I_1$; отсюда $\frac{L_{12}}{L_1}=\frac{V_{12}}{V_1}$ (при этом контур II разомкнут и возбуждается лишь контур I).



Фиг. 4.



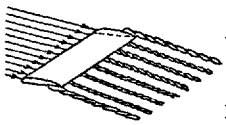
Фиг. 5.

Затем процесс измерения повторяется при разомкнутом контуре I и возбуждении контура II; в этом случае получается $\frac{L_{21}}{L_2}=\frac{V_{21}}{V_2}$. Подробности см. *Связь*.

Лит.: см. *Связь*. **В. Бажанов.**

ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, сопротивление, к-рое получается у движущегося в жидкости тела при наличии циркуляции, обусловливающей по теореме Жуковского нек-рую подъемную силу от определенной системы вихрей, образовавшихся в жидкости при движении данного тела (см. *Вихревая теория*). Эти вихри образуются следующим образом.

Предположим, что нек-рое крылообразное тело движется в воздухе; у него сила сопротивления получается как за счет трения, так и за счет придания некоторой массе воздуха определенных скоростей. При наличии у этого крыла подъемной силы, т. е. силы, перпендикулярной к направлению движения потока, струя над крылом сужается, а под крылом расширяется, за счет чего соответственно получаются бо́льшие и меньшие скорости разных направлений; от этого по всему размаху крыла образуются вихри, составляющие общую вихревую пелену (фиг. 1), к-рая, сходя с крыла, практически, вследствие вязкости воздуха, понемногу размывается.



Фиг. 1.

В теории И. с. пользуются методом, часто применяемым в гидродинамике: предполагается, что крыло создало определенную систему вихрей и эти вихри вызывают определенное поле скоростей. Чтобы охватить математич. анализом действие вихрей на окружающую их жидкость, предполагается, что с задней кромки крыла сбегает множество элементарных вихрей с циркуляцией J, при чем, т. к., с точки зрения гидродинамики, всякий вихрь не может кончиться внезапно, то, в согласии с теорией подъемной силы крыла аэроплана, предполагается, что сбегающие с крыла вихри идут внутри крыла в виде нек-рых фиктивных, т. н. присоединенных вихрей с циркуляцией в каком-либо сечении крыла плоскостью, перпендикулярной размаху, равной сумме циркуляций элементарных вихрей, проходящих по одну сторону этой плоскости.

Согласно вихревой теории, вихри вызывают в потоке некоторую добавочную скорость; последняя, слагаясь с относительной скоростью движения крыла, дает ту истинную скорость, с к-рой воздух подходит и отходит от крыла. В общем случае эта вызванная скорость не постоянна по размаху крыла, а будет зависеть от интенсивности расположения элементарных вихрей, составляющих сходящую с крыла вихревую пелену. В частном случае система вихрей будет состоять из концевых и присоединенных прямолинейных вихрей—это т. н. **П**-образные вихри. В некоторых случаях практики для упрощения расчетов м. б. принята приближенно эта схема распределения вихрей.

Зная вызванные определенной системой вихрей скорости и составляя уравнение связи крыла с потоком, т. е. связь между гидродинамич. величинами, характеризующими поток, и величинами, характеризующими крыло данной формы, можно найти и необходимые характеристики каких угодно крыльев. Теория И. с. играет чрезвычайно большую роль в практике аэродинамич. расчета самолетов (см. *Аэродинамика*, расчет самолета), т. к. она позволяет по продувкам индивидуальных крыльев находить характеристики любых сложных крыльев. Так, по характеристике монопланных крыльев различных профилей можно найти характеристики сложных крыльев, скомбинированных из этих профилей и как угодно расположенных в крыле; такими крыльями будут конические крылья, крылья с различными установками профилей, т. н. скрученные крылья, бипланы, тендемы и т. д.



Фиг. 2.

Рассмотрим влияние прямолинейного бесконечного шнура с циркуляцией J (фиг. 2) на какую-либо точку жидкости A и определим вызванную этим шнуром скорость в этой точке. Согласно сказанному в статье «Вихревая теория» (ТЭ, т. 3, ст. 776), бесконечно малый элемент шнура ds вызовет в точке A элементарную скорость

$$dv = \frac{J}{4\pi r^2} \cdot \sin\varphi \, ds. \qquad (1)$$

Так как $r=\frac{x}{\sin\varphi}$ и $ds=\frac{r\,d\varphi}{\sin\varphi}=\frac{x}{\sin^2\varphi}\,d\varphi$, то вызванная элементарная скорость

$$dv = \frac{J}{4\pi x} \cdot \sin\varphi \, d\varphi.$$

Интегрируя в пределах углов от φ_2 до φ_1, получим полную скорость точки A от действия части вихря, заключенного между этими углами:

$$v = \frac{J}{4\pi x}\int_{\varphi_2}^{\varphi_1} \sin\varphi \, d\varphi = \frac{J}{4\pi x}(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1). \qquad (2)$$

В случае бесконечного шнура $\varphi_2=0$, $\varphi_1=\pi$, и скорость

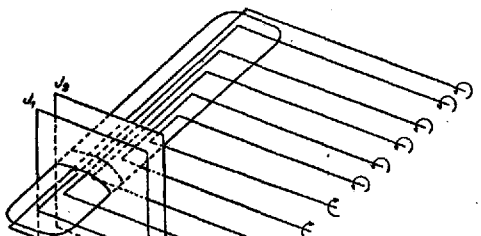
$$v = \frac{J}{2\pi x}. \qquad (3)$$

В случае полушнура, т. е. шнура, только одним концом простирающегося в бесконеч-

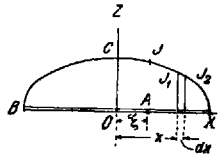
ность, а другим лежащего на перпендикуляре AB, $\varphi_2 = 0$, $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ и скорость

$$v = \frac{J}{4\pi x} . \qquad (4)$$

Рассмотрим скорость, вызванную вокруг крыла вихревой пеленой. Для этого будем полагать, что эта вихревая пелена аналогична бесконечному ряду П-образных вихрей (фиг. 3). Возьмем какое-либо сечение крыла плоскостью, перпендикулярной к размаху и направленной по потоку, а также второе сечение, бесконечно близкое к первому. Обозначим циркуляции по контуру, охватывающему крыло и находящемуся в проведенной плоскости, соответственно через J_1 и J_2. Выберем прямоугольную систему координат т. о., чтобы ось X шла по размаху крыла, ось Y—по направлению движения крыла и ось Z—перпендикулярно первым двум. Пусть на фиг. 4 кривая BCX представляет собою закон распределения циркуляции по размаху. Обозначим абсциссы положения вихрей через x, а абсциссы точек крыла—через ξ. По ф-ле (4), скорость, вызванная элементом вихря с абсциссой x в точке A с абсциссой ξ, будет:



Фиг. 3.



Фиг. 4.

$$dv = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dJ}{dx} \cdot \frac{dx}{x - \xi} .$$

Интегрируя это выражение по всему крылу, т. е. в пределах от $-\frac{l}{2}$ до $+\frac{l}{2}$, получим скорость, вызванную рассмотренной системой вихрей в точке A:

$$v = \frac{1}{4\pi} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{dJ}{dx} \cdot \frac{dx}{x - \xi} . \qquad (5)$$

Рассмотрим теперь действие на поток вокруг крыла одного П-образн. вихря (фиг. 5). По ф-ле (4) можно найти скорость, вызванную одним полушнуром:

$$v = \frac{J}{4\pi x} .$$

Эта скорость по размаху будет меняться по гиперболич. закону. Найдем среднюю по размаху величину этой вызванной скорости и назовем ее $v_{cp.}$ Т. к. концевые вихри, как показывает опыт, идут на нек-ром расстоянии от конца крыла, то обозначим размах крыла через l, расстояние между центрами вихрей—через l_1 и расстояние от центра вихря до конца крыла — через e; тогда

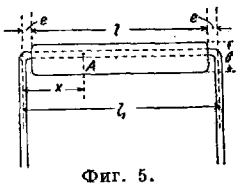
$$e = \frac{l_1 - l}{2} .$$

Величина средней скорости

$$v_{cp.} = \frac{1}{l} \int_e^{l+e} v\, dx = \frac{J}{4\pi l} \int_e^{l+e} \frac{dx}{x} = \frac{J}{4\pi l} \cdot \ln \frac{l+e}{e} .$$

Так как в нашей системе имеются два вихря, то вызванная каждым вихрем средняя скорость удваивается, и средняя скорость, вызванная двумя концевыми вихрями в точке A, лежащей на присоединенном вихре, выразится так:

$$v_{cp.} = \frac{J}{2\pi l} \cdot \ln \frac{l+e}{e} .$$



Фиг. 5.

Приближенно, на основании опыта, можно принять, что $l_1 = l \cdot 1{,}05$; тогда

$$\ln \frac{l_1 + l}{l_1 - l} \cong 4 ,$$

и, следовательно, средняя скорость

$$v_{cp.} = \frac{2J}{\pi l} . \qquad (6)$$

Чтобы найти ур-ие связи крыла с потоком, воспользуемся теоремой Н. Е. Жуковского (см. *Аэродинамика*, т. 1, ст. 835), по к-рой подъемная сила через циркуляцию выражается след. обр.:

$$P = \varrho \cdot J \cdot V \cdot l . \qquad (7)$$

С другой стороны, эту подъемную силу можно выразить также следующей ф-лой (см. *Аэродинамика*, т. 1, ст. 841, ф-ла 6):

$$P = \varrho \cdot C_y \cdot S \cdot V^2 . \qquad (8)$$

Сравнивая эти две ф-лы, получаем:

$$J = \frac{C_y \cdot S \cdot V}{l} = C_y \cdot b \cdot V ;$$

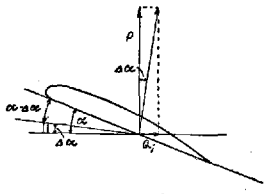
подставляя же это выражение для J в ф-лу (6) и вводя обозначение $\lambda = \frac{l}{b}$, к-рое называется относительным размахом или удлинением крыла, найдем:

$$v_{cp.} = \frac{2}{\pi l} \cdot C_y \cdot b \cdot V = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y \cdot V . \qquad (9)$$

Наличие этой скорости, вызванной вихрями, обусловливает собой отклонение относительной скорости потока у крыла на определенный угол $\Delta\alpha = \frac{v_{cp.}}{V}$. Этот угол называется скосом потока. Вследствие наличия скоса потока крыло в действительности встречает поток не под углом атаки α, а под углом $\alpha - \Delta\alpha$ (фиг. 6).

Подъемная сила крыла, движущегося со скоростью V, перпендикулярна скорости движения крыла. Это—та подъемная сила, с к-рой обыкновенно оперируют и к-рую находят при аэродинамич. испытаниях крыльев. Вследствие того, что направление потока скошено на угол $\Delta\alpha$, подъемная сила также откинута назад на угол $\Delta\alpha$. Если спроектировать ее на направление движения крыла, то получится некоторая сила Q_i, направленная по скорости движения, т. е. некоторая сила лобового сопротивления, вызванная строением самого потока около

крыла и называемая индуктивным сопротивлением. Но при движении крыла от трения поверхности крыла о воздух и от различных побочных вихреобразований создается еще сила лобового сопротивления, зависящая исключительно от индивидуальных особенностей профиля крыла. Это сопротивление называется профильным сопротивлением; обозначим его через Q_p. Индуктивное и профильное сопротивления создают то лобовое сопротивление, которое и наблюдается при испытаниях крыла. Т. о., полное лобовое сопротивление



Фиг. 6.

$$Q = Q_i + Q_p .$$

Т. к. скос потока является величиной сравнительно небольшой и проекция подъемной силы на новое направление изменит ее очень мало, то приближенно принимают, что подъемная сила за счет скоса потока изменяется незначительно; большое же изменение ее происходит за счет изменения угла атаки.

Согласно фиг. 6, И. с. выражается следующим образом:

$$Q_i = P \cdot \Delta\alpha ,$$

а полное лобовое сопротивление

$$Q = P \cdot \Delta\alpha + Q_p .$$

Подставив в эту ф-лу выражения сопротивлений через коэфф-ты сопротивлений, будем иметь:

$$C_x \cdot \varrho \cdot S \cdot V^2 = C_y \cdot \varrho \cdot S \cdot V^2 \cdot \Delta\alpha + C_p \cdot \varrho \cdot S \cdot V^2 ,$$

где C_y можно назвать коэфф-том профильного сопротивления. Деля все выражение на $\varrho \cdot S \cdot V^2$, получим:

$$C_x = C_y \cdot \Delta\alpha + C_p , \qquad (10)$$

или $C_x = C_i + C_p$, где C_i — коэфф-т индуктивного сопротивления, выражающийся следующим образом:

$$C_i = C_y \cdot \Delta\alpha . \qquad (11)$$

Коэфф. профильного сопротивления, как зависящий от индивидуальных особенностей профиля, не м. б. найден теоретич. путем; коэфф-т же И. с. зависит от угла скоса:

$$\Delta\alpha = \frac{v_{ср.}}{V} .$$

Подставляя сюда найденное значение для средней вызванной скорости, получим:

$$\Delta\alpha = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y , \qquad (12)$$

или, выражая угол скоса в градусах,

$$\Delta\alpha^\circ = 57{,}3 \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y .$$

Т. о., коэфф. И. с. может быть представлен следующей ф-лой:

$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y^2 . \qquad (13)$$

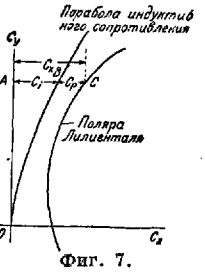
Это—ур-ие параболы, ось к-рой проходит через ось C_i. Эта парабола называется параболой индуктивного сопротивления. Обозначим $\frac{2}{\pi\lambda}$ через A; тогда

$$C_i = A \cdot C_y^2 . \qquad (14)$$

A является, следовательно, параметром параболы И. с. и зависит только от относительного размаха λ. При увеличении λ ветви параболы будут приближаться к оси ординат—парабола будет делаться более раскрытой; при $\lambda = \infty$, $A = 0$—парабола обращается в ось ординат.

Так. обр., И. с. зависит от подъемной силы и от относительного размаха: при одной и той же подъемной силе, чем больше относительный размах, тем меньше И. с.; при бесконечном размахе И. с. равно нулю и, следовательно, все лобовое сопротивление крыла сводится только к профильному сопротивлению. С другой стороны, при одном и том же относительном размахе И. с. меняется в зависимости от подъемной силы, и при нуле подъемной силы все лобовое сопротивление сводится только к профильному сопротивлению, т. к. в этом случае И. с. равно нулю.

Поляра Лилиенталя дает характеристику данного крыла (см. *Аэродинамика*). На каком-либо угле атаки α отрезок AC, параллельный оси абсцисс, будет представлять собою лобовое сопротивление данного крыла (фиг. 7). Для имеющегося у этого крыла относительного размаха λ можно по ф-ле (13) построить параболу И. с.; тогда отрезок AB будет представлять собою И. с. этого крыла, соответствующее определенной подъемной силе. Отрезок BC будет, следовательно, равен C_p, т. е. профильному сопротивлению. Т. о., при помощи приведенных ф-л можно решать основные задачи теории И. с., которые находят большое применение на практике.



Фиг. 7.

Одной из главных задач является нахождение характеристики крыла одного относительного размаха по характеристике крыла другого относительного размаха, или нахождение характеристики биплана или вообще полиплана какого угодно размаха по характеристике моноплана. Т. к. аэродинамич. лаборатории обычно дают характеристику монопланного крыла для относительного размаха, равного 5 или 6, то при аэродинамическом расчете самолета приходится находить характеристику крыла для того относительного размаха, который имеется на рассчитываемом самолете.

Исходя из теории П-образных вихрей в случае биплана или вообще полиплана, можно также найти все поле скоростей. Метод, данный для этого Бетцем, состоит в том, что путем последовательных приближений находят влияние одного крыла на другое при каком угодно расположении и величине крыльев; однако, он требует длительных вычислений, и поэтому мы приведем здесь лишь приближенную ф-лу для полипланов, данную проф. Прандтлем. Под коэфф-тами сопротивления полиплана мы будем подразумевать коэфф-ты суммарного действия планов, получающиеся по правилу смешения, т. е. коэфф-ты подъемной силы и лобового сопротивления полиплана будут:

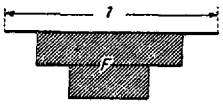
$$C_y = \frac{C_{y_1} \cdot S_1 + C_{y_2} \cdot S_2 + \ldots + C_{y_n} \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \ldots + S_n}$$

и

$$C_x = \frac{C_{x_1} \cdot S_1 + C_{x_2} \cdot S_2 + \ldots + C_{x_n} \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \ldots + S_n},$$

где $C_{y_1}, C_{y_2}, C_{y_3}, \ldots, C_{y_n}$—коэфф-ты подъемной силы каждого из планов полиплана; C_{x_1}, $C_{x_2}, \ldots, C_{x_n}$—соответственно коэфф-ты лобового сопротивления планов, а S_1, S_2, ..., S_n—площади каждого плана.

И. с. полиплана, имеющего одинаковой ширины крылья, будет выражаться ф-лой, аналогичной ф-ле (14) моноплана; однако, коэффициент A будет зависеть не только от относительного размаха плана, но также и от числа планов и их взаимного расположения. Для полипланов приближенное выражение для коэфф. A будет:



Фиг. 8.

$$A = \frac{2S}{\pi l^2 + 4F}, \qquad (15)$$

где l—наибольший размах полиплана, S—несущая площадь всех планов, а F—заштрихованная площадь, показанная на фиг. 8. Если взять частный случай, когда все планы имеют одинаковый размах l, одинаковую ширину крыльев b, а расстояние между планами равно ширине, то общая площадь

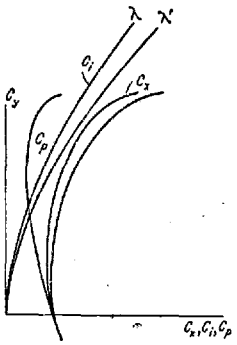
$$S = n \cdot b \cdot l,$$

где n—число планов. В этом случае площадь F можно выразить след. обр.: $F = (n-1)b \cdot l$, и ф-ла (15) получает такой вид:

$$A = \frac{2n}{\pi\lambda + 4(n-1)}.$$

В частном случае, при $n=1$, она переходит в ф-лу для моноплана, выведенную выше.

Наиболее часто применяемой на практике задачей является переход от крыла с одним относительным размахом к другому. Если мы имеем для данного размаха λ поляру Лилиенталя, то можно определить для каждого угла атаки профильное сопротивление, т. е. найти характеристику этого крыла для бесконечного размаха, вычитая из абсцисс кривой Лилиенталя абсциссы параболы И. с., построенной для значения λ. Находя параболу И. с. для другого относительного размаха λ' и прикладывая к нему профильное сопротивление, найдем новую поляру для относительного размаха λ'. Однако, от относительного размаха зависит также и скос потока; поэтому при определенных значениях подъемной силы как при бесконечном размахе, так и при новом конечном λ' углы атаки изменятся за счет различных скосов потока. Вычисление характеристики крыла при переходе от одного размаха к другому можно делать графич. или аналитич. путем. На фиг. 9 показан графич. метод такого вычисления при нахождении самой поляры. Остается определить те углы атаки, соответствующие определенному C_y, к-рые получатся при переходе от относительного размаха λ к относительному размаху λ'.



Фиг. 9.

Угол скоса потока выражается ф-лой:

$$\Delta\alpha = A\,C_y. \qquad (16)$$

Если вычислить A для значения λ, соответствующего относительному размаху первоначальной характеристики, то можно найти скосы потока, получающиеся при этом крыле. Истинный угол атаки $\alpha - \Delta\alpha$ равен кажущемуся углу атаки для крыла бесконечного размаха. Если мы имеем значения C_y, выражаемые кривой по углу атаки α, то, проведя налево от оси ординат прямую (фиг. 10), выражаемую ур-ием (16), получим, что для каждого C_y скос потока будет выражаться соответствующей абсциссой этой прямой. Если отнести кривую C_y к вышеупомянутой прямой, то получим кривую C_y по истинным углам атаки. Если же отнести эту кривую C_y к прямой, выражаемой ур-ием $\Delta\alpha = A'C_y$, где A' соответствует λ', то получим выражение C_y по углам атаки, соответствующим относительному размаху λ'. По найденной характеристике C_y по α для нового относительного размаха λ' можно на поляре Лилиенталя нанести и соответствующие каждому значению C_y углы атаки.



Фиг. 10.

Вместо только что описанных графических операций можно применить также и вычисление. Имея характеристику монопланного крыла определенного размаха λ, будем, следовательно, иметь соответствующие друг другу величины α, C_y и $C_{x\lambda}$. Вписываем их в первые три столбца таблицы.

Таблица для вычисления характеристики крыла при переходе от одного размаха к другому.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
α	C_y	$C_{x\lambda}$	$C_{i\lambda} = A_\lambda \cdot C_y^2$	$C_p = C_{x\lambda} - C_{i\lambda}$	$\Delta\alpha_\lambda = A_\lambda \cdot C_y$	$\alpha_\lambda = \alpha - \Delta\alpha_\lambda$	$C_{i\lambda'} = A'_{\lambda'} \cdot C_y^2$	$C_{x\lambda'} = C_{i\lambda'} + C_p$	$\Delta\alpha_{\lambda'} = A'_{\lambda'} \cdot C_y$	$\alpha_{\lambda'} = \alpha_\lambda + \Delta\alpha_{\lambda'}$

Так как лобовое сопротивление является суммой сопротивлений индуктивного C_i и профильного C_p, при чем C_i зависит как от относительного размаха λ, так и от соответствующей комбинации крыльев (моноплан, биплан и т. д.), а C_p—от индивидуальных свойств профиля, то переход от одного относительного размаха к другому или от одной комбинации крыльев к другой будет заключаться в соответствующем изменении И. с. C_i, а также и угла атаки α для каждого C_y. Т. о., в 4-й столбец вписываются значения C_i для того относительного размаха или для той комбинации крыльев, для к-рой имеется характеристика. $C_{i\lambda}$ определяется по ф-ле $C_{i\lambda} = A_\lambda \cdot C_\lambda^2$. Вычитая из общего сопротивления C_x И. с. $C_{i\lambda}$, получим профильное сопротивление C_p (5-й столбец). Углы атаки,

соответствующие определенным C_y и $C_{x\lambda}$, будут уже отличны от значений, данных в 1-м столбце, вследствие скоса потока. Этот скос потока, соответствующий бесконечному размаху, определяется по формуле $\Delta\alpha_\lambda = A_\lambda C_y$ (6-й столбец). Углы атаки, соответствующие бесконечному размаху данного крыла, найдутся, если вычесть из соответствующего значения 1-го столбца значение 6-го столбца (7-й столбец). Таким образом, 2-й, 5-й и 7-й столбцы дают характеристику крыла бесконечного размаха.

Для нахождения характеристики крыла другого относительного размаха λ' находим И. с. для относительного размаха λ', к-рое определяется по ф-ле: $C_{i\lambda'} = A'_{\lambda'} \cdot C_y$ (столбец 8-й). Прикладывая к соответствующим значениям $C_{i\lambda'}$ найденное уже профильное сопротивление C_p (5-й столбец), найдем значения лобового сопротивления $C_{x\lambda'}$, соответствующие крылу с относительным размахом λ' (9-й столбец). Скосы потока для λ' определяем по формуле $\Delta\alpha_{\lambda'} = A'_{\lambda'} C_y$ (10-й столбец). В столбец 11-й заносим углы атаки нового крыла с удлинением λ', которые получаются сложением значений столбцов 7-го и 10-го. Т. о., новую характеристику крыла с относительным размахом λ' будем иметь в столбцах 2-м, 9-м и 11-м. Подобные вычисления проделываются для различных α, C_y и $C_{x\lambda}$ в диапазоне имеющейся характеристики (обычно через каждые 2°).

Соответствующий анализ показывает, что постоянная по всему размаху скорость скоса, вызванная вихрями, получается в случае распределения циркуляции по размаху по закону полуэллипса. В этом случае И. с. и скос потока выражаются совершенно так же, как и в случае П-образных вихрей, а именно:

$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y \text{ и } \Delta\alpha = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y .$$

Т. о., средняя вызванная скорость П-образных вихрей одинакова с постоянной скоростью при эллиптическом распределении. Такое распределение циркуляции получается при эллиптической в плане форме крыльев одинакового профиля и одинаковых углов установки.

Рассмотренная выше схема П-образных вихрей является схемой искусственной; при рассмотрении сложных крыльев приходится прибегать к более точному методу, ибо эта упрощенная схема дает в таких случаях слишком неточные результаты. Кроме того, если бывает нужно построить распределение давления по крылу, то приходится уже рассматривать влияние каждого вихря на данную точку жидкости.

Ф-ла (5) дает значение вызванной выхрями скорости для любого распределения циркуляции. С другой стороны, в каждом сечении крыла д. б. удовлетворено равенство

$$C_y b = \frac{J}{V} .$$

Зная в каждом сечении крыла его профиль C_y, ширину крыла b и, следовательно, кажущийся угол атаки α, можно найти в каждом сечении скос потока, а также и истинный угол атаки $\alpha_0 = \alpha - \Delta\alpha$. Так как в общем случае уравнение (5) не интегрируется в простых функциях, то для нахождения характеристики сложного крыла приходится пользоваться следующим приближенным методом. Задаются распределением циркуляции вдоль размаха крыла и определяют в каждом его сечении скос потока $\Delta\alpha$; зная же $\Delta\alpha$ и угол атаки α, можно найти и $\alpha - \Delta\alpha$. Затем определяют новую кривую распределения циркуляции по формуле $J = C_{y_0} bV$, где C_{y_0}—коэфф. подъемной силы профиля данного сечения для бесконечного размаха, соответствующий углу атаки $\alpha - \Delta\alpha$. Если новая вычисленная кривая не совпадает с той, которою задавались вначале, то следует вновь повторить те же вычисления, задавшись другой кривой распределения циркуляции, промежуточной между вычисленной и ранее заданной. Все эти вычисления чрезвычайно кропотливы и требуют много времени; значительное сокращение дает графический метод, описанный в «Трудах ЦАГИ», 1929 г., вып. 42.

Можно пользоваться также и другим аналитическим методом—Трефца, представляющим то удобство, что он сразу дает выражение для распределения циркуляции, при чем устраняется надобность в последовательных приближениях. Сущность этого метода заключается в том, что линия разрыва скоростей, являющаяся также границей вихревой области на крыле, преобразуется соответствующими подстановками в круг, а функция потенциала скоростей разлагается в тригонометрич. ряд и д. б. удовлетворена в нескольких точках крыла по его размаху,—это приводит к решению совместных ур-ий для определения коэффициента этого ряда. Коэфф-ты подъемной силы и И. с. будут, согласно этой теории, выражаться след. образом:

$$\left.\begin{aligned} C_y &= \frac{\pi l}{2SV} \cdot A_1 \\ C_i &= N \cdot \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y^2 \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

Здесь $N = \frac{A_1^2 + 3A_3^2 + 5A_5^2 + 7A_7^2 + \dots}{A_1^2}$; $A_1, A_2, A_3 \dots$ коэфф-ты тригонометрич. ряда разложения потенциальной ф-ии:

$$\varphi = \frac{A_1 \sin\theta}{r} + \frac{A_2 \sin 3\theta}{r^3} + \frac{A_5 \sin 5\theta}{r^5} + \frac{A_7 \sin 7\theta}{r^7} + \dots$$

Это ур-ие после соответствующих подстановок и преобразований можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} I_0 \sin\theta = {} & A_1 \sin\theta(\mu + \sin\theta) + \\ & + A_3 \sin 3\theta(3\mu + \sin\theta) + \\ & + A_5 \sin 5\theta(5\mu + \sin\theta) + \\ & + A_7 \sin 7\theta(7\mu + \sin\theta) + \dots \end{aligned} \qquad (18)$$

Здесь $I_0 = {}^1/_2\, C_{y_0} bV$, т. е. половине циркуляции, к-рая получилась бы, если бы каждый элемент рассматриваемого крыла работал так же, как он работал бы при этом же угле установки в плоскопараллельном потоке (т. е. при бесконечном размахе). C_{y_0}—коэфф. подъемной силы профиля с бесконечным размахом, θ—угол между радиусом и осью абсцисс, определяющий положение какого-либо сечения крыла (фиг. 11), $\mu = \frac{\operatorname{tg}\beta_0 \cdot b}{2l}$, где β_0—угол наклона кривой

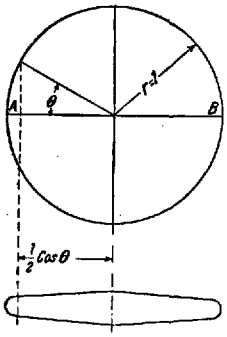
C_{y_0} к оси углов атаки для крыла бесконечного размаха.

Мы уже видели, что И. с. эллиптического крыла выражается след. обр.:

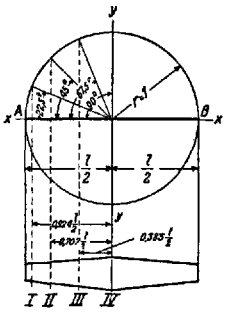
$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y^2,$$

следовательно, коэфф. N представляет собою увеличение И. с. над значением его, получающимся при эллиптическом распределении циркуляции.

Оказывается, что для целей практики совершенно достаточно бывает брать для определения коэффициентов A_1, A_3, A_5 только четыре члена тригонометрического ряда и удовлетворять этому ряду только в четырех точках; тогда мы будем иметь четыре ур-ия с четырьмя неизвестными. Для удобства вычислений можно брать сечения полукрыла, соответствующие значениям θ,



Фиг. 11.



Фиг. 12.

равным 22,5°, 45°, 67,5° и 90°, отстоящим от середины крыла на расстоянии соответственно $0{,}924\,\frac{l}{2}$; $0{,}707\,\frac{l}{2}$; $0{,}383\,\frac{l}{2}$ и 0 (фиг. 12). В этом случае система уравнений будет иметь следующий вид:

I. $0{,}383\,(\mu_1+0{,}383)\,A_1+0{,}924\,(3\mu_1+0{,}383)\,A_3+$
$+0{,}924\,(5\mu_1+0{,}383)\,A_5+0{,}383\,(7\mu_1+0{,}383)\,A_7=$
$=0{,}383\,(J_0)_1$;

II. $0{,}707\,(\mu_2+0{,}707)\,A_1+0{,}707\,(3\mu_2+0{,}707)\,A_3-$
$-0{,}707\,(5\mu_2+0{,}707)\,A_5-0{,}707\,(7\mu_2+0{,}707)\,A_7=$
$=0{,}707\,(J_0)_2$;

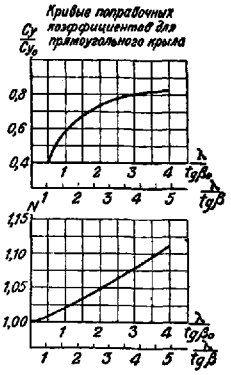
III. $0{,}924\,(\mu_3+0{,}924)\,A_1-0{,}383\,(3\mu_3+0{,}924)\,A_3-$
$-0{,}383(5\mu_3+0{,}924)\,A_5+0{,}924(7\mu_3+0{,}924)\,A_7=$
$=0{,}924\,(J_0)_3$;

IV. $(\mu_4+1)\,A_1-(3\mu_4+1)\,A_3+(5\mu_4+1)\,A_5-$
$-(7\mu_4+1)\,A_7=(J_0)_4$.

Т. о., для определения И. с. какого угодно крыла необходимо иметь характеристику профилей в рассматриваемых сечениях при бесконечном размахе. Характеристики для конечного размаха определяются опытным путем. Выше был уже изложен приближенный метод пересчета с конечного размаха на бесконечный. Этот метод, однако, являющийся точным для эллиптич. крыла, не дает возможности более точно подсчитать характеристику бесконечного размаха для крыльев других форм. В аэродинамич. лабораториях обычно испытывают крылья прямоугольные, поэтому в первую очередь необходимо уметь пересчитывать на бесконечный размах характеристики этих крыльев. Подставляя в формулу (17) значение площади крыльев $S = lb$, а также принимая во внимание уравнение (18), получим:

$$C_y = \frac{\pi A_1}{2bV};\quad \frac{C_y}{C_{y_0}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{A_1}{J_0}. \qquad (19)$$

Кроме того, коэфф. N зависит от величины μ, так как в ур-иях I, II, III и IV коэфф-ты A_1, A_3, A_5 и A_7 определяются через μ. На фиг. 13 даны величины $\frac{C_y}{C_{y_0}}$ и N в зависимости от $\frac{\lambda}{\operatorname{tg}\beta_0}$. По этим графикам, если известна характеристика профиля для бесконечного размаха, можно найти также характеристику прямоугольного крыла. Для решения обратной задачи на тех же графиках нанесен другой масштаб — для $\frac{\lambda}{\operatorname{tg}\beta}$, где β—угол наклона к оси абсцисс характеристики данного профиля прямоугольного крыла. Таким же образом можно вывести поправочные коэффициенты для каких угодно крыльев. Однако, приближенно можно для нек-рых форм крыльев пользоваться следующими формулами.



Фиг. 13.

Трапецоидальное крыло (фиг. 14): для отношений $\frac{b}{b_0}$, равных от $^1/_3$ до $^2/_3$,

$$\Delta\alpha = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y,$$

$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y^2.$$

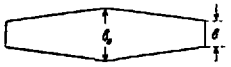
Крыло с закруглен. концами (фиг. 15):

$$\Delta\alpha = \frac{0{,}730}{\lambda} \cdot C_y,$$

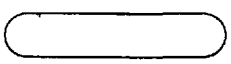
$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y^2.$$

Все вычисления по этим ф-лам производятся указанным выше способом, только при нахождении И. с. и скоса потока следует подставить вместо величины A ее новое соответствующее значение.

Как уже было указано, по теории Треф-ца распределение циркуляции по размаху



Фиг. 14.



Фиг. 15.

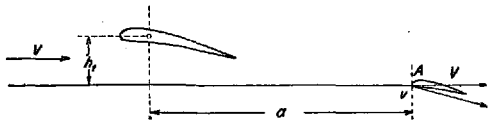
можно представить в виде определенной кривой. Эта кривая выражается следующим уравнением:

$$J = 2\,(A_1 \sin\theta + A_3 \sin 3\theta + A_5 \sin 5\theta + A_7 \sin 7\theta). \qquad (20)$$

Когда коэфф-ты A_1, A_3, A_5 и A_7 определены для соответствующих θ вышеуказанным способом, то можно построить и эту кривую.

При наличии подъемной силы крыло отклоняет набегающий на него поток на некоторый угол, а следовательно, и сзади крыла поток будет также скошен на определенный угол (фиг. 16). Этот с к о с п о т о к а з а к р ы л о м вызывается как вихревой пеленой, так и присоединенными вихрями. Так как стабилизатор обычно располагается

сзади крыла, то он будет работать в потоке, уже возмущенном крылом, и угол атаки стабилизатора нельзя уже будет определять как угол между хордой стабилизатора и направлением движения всего самолета. В расчете устойчивости, когда приходится определять восстанавливающие моменты стабилизатора и, следовательно, находить подъемную силу стабилизатора, необходимо учитывать скос потока от крыльев.



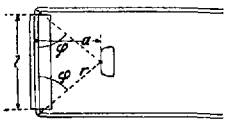
Фиг. 16.

Теория И. с. дает возможность найти этот скос. Кроме того, в самолетах типа тендем влияние переднего крыла на заднее выразится в изменении подъемной силы и лобового сопротивления за счет изменения углов атаки от скоса потока.

При П-образной схеме вихрей формула для скоса потока может быть выведена на основании выражения (2). Если предположить, что один конец шнура уходит в бесконечность и, следовательно, $\cos\varphi_2 = 1$, а другой лежит на расстоянии c от точки B (фиг. 2), то в нашем случае выражение для вертикальной вызванной скорости примет вид:

$$v = \frac{J}{4\pi x}\left(1 - \frac{c}{\sqrt{x^2 + c^2}}\right). \qquad (21)$$

Вертикальная скорость за крылом будет вызвана двумя концевыми вихрями и присоединенным вихрем (фиг. 17). На основании принципа независимости можно принять, что общая вызванная скорость слагается из скорости, вызванной присоединенным вихрем, и удвоенной скорости, вызванной одним концевым вихрем. На основании ф-лы (21), скорость, вызванная двумя концевыми вихрями:



Фиг. 17.

$$2v_2 = 2\frac{J}{4\pi\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2}}\left[1 + \frac{a}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2 + a^2}}\right],$$

а на основании ф-лы (2), скорость, вызванная присоединенным вихрем:

$$v_1 = \frac{J}{2\pi}\cdot\frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{h_1^2 + a^2}\cdot\sqrt{h_1^2 + a^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}};$$

следовательно, общая вертикальная скорость за крылом

$$v = \frac{J}{2\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2}} + \frac{a}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2}\cdot\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2 + a^2}} + \frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{h_1^2 + a^2}\cdot\sqrt{h_1^2 + a^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}}\right]. \qquad (22)$$

Эту ф-лу можно упростить, принимая, что возвышение крыла над стабилизатором равно нулю ($h_1 = 0$), что обычно и осуществляется на практике. В таком случае будем иметь:

$$v = \frac{J}{\pi l}\left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{l}{2a}\right)^2}\right] \qquad (23)$$

или, для скоса потока, выраженного в градусах:

$$\Delta\alpha^\circ = 57{,}3\,\frac{C_y}{\pi\lambda}\left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{l}{2a}\right)^2}\right]. \qquad (24)$$

При эллиптич. распределении циркуляции по размаху, ф-ла для скоса потока за крылом будет иметь следующий вид:

$$\Delta\alpha^\circ = 57{,}3\,\frac{4}{\pi\lambda}\cdot C_y\left[1 + \left(\frac{l}{4a}\right)^2\right]. \qquad (25)$$

Обе приведенные ф-лы дают довольно значительно разнящиеся между собой результаты и не вполне согласуются с опытными данными для наиболее ходовых типов крыльев. Поэтому имеются попытки составления полуэмпирических, согласующихся с опытом формул. Одна из таких формул имеет следующий вид:

$$\Delta\alpha^\circ = 57{,}3\,\frac{2{,}9}{\pi\lambda}\cdot C_y\cdot\left[1 + \left(\frac{l}{4a}\right)^2\right] \qquad (26)$$

и в пределах практич. применений хорошо согласуется с данными опытов, произведенных с моделями монопланных крыльев.

Для биплана можно принять ту же ф-лу (26); только в этом случае λ будет удлинением эквивалентного моноплана, к-рое можно подсчитывать по приближенной ф-ле (15):

$$\lambda = \frac{\pi l^2 + 4F}{\pi S}.$$

Все приведенные ф-лы не учитывают влияния струи винта, которая может произвести также некоторый скос потока. Этот скос потока от винта с достаточной степенью точности можно определять по формуле:

$$\delta = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2B}{0{,}6}}}\right)(\alpha - \beta) + \frac{\Delta\alpha}{\sqrt{1 + 2B}}, \qquad (27)$$

где α—угол атаки крыльев, $\Delta\alpha$—скос потока от крыльев, β—угол наклона оси винта к хорде крыла и B—коэффициент нагрузки на ометаемую винтом площадь (см. *Воздушный винт*).

Лит.: Юрьев Б. Н., Индуктивное сопротивление крыльев аэроплана, «Труды ЦАГИ», 1926, вып. 20; его же, Определение аэродинамических свойств крыльев произвольного очертания в плане, «ВВФ», 1923, *2*; Саткевич А., Аэродинамика как теоретическая основа авиации, II., 1923; Чесалов А. В., О построении поляры Лилиенталя моноплана произвольной формы, «Техника возд. флота», М., 1927, *6*; «Материалы по аэродинамическому расчету самолетов», Сборн. статей под ред. В. Александрова, «Труды ЦАГИ», 1929, вып. 42; Козлов С. Г., Аэродинамич. расчет бипланной коробки, «Техника воздушного флота», М., 1927, *3*; Prandtl L., Application of Modern Hydrodynamics to Aeronautics, «Reports of the Nat. Advis. Comm. for Aeronautics», Wsh., 1921, *116*; Prandtl L. u. Betz A., Vier Abhandlungen z. Hydrodynamik u. Aerodynamik (Tragflügeltheorie, 1. u. 2. Mitteilungen), Göttingen, 1927; Bader H. G., Flugzeugbaukunde, B., 1924; Bader H. G., Grundlagen d. Flugtechnik, B., 1920; Glauert H., A Method of Calculating the Characteristics of a Tapered Wing, «Aeron. Research Committee, Reports a. Memoranda», L., 1922, *824*; Florine N., Traînée induite des ailes d'avion, «Builetin du Laboratoire aérotechnique de Belgique», Bruxelles, 1922; Fuchs H. und Hopf L., Aerodynamik, B., 1922; Munk M., General Biplan Theory, «Reports of the Nat. Advis. Comm. for Aeronautics», Wsh., 1922, *151*; Simmons L., Note on the Applications of the Vortex Theory of Aerofoil to the Prediction of Downwash, «Aeron. Research Committee, Reports a. Memoranda», L., 1924, *914*; Simmons L. a. Owner E., An Investigation of Downwash in the Slipstream, ibid., London, 1924, *882*.

В. Александров.

ИНДУКТИВНОСТЬ, физич. величина, являющаяся мерой электромагнитной инерции данной системы. Рассмотрим два контура 1 и 2, по которым проходят соответственно токи силою I_1 и I_2. Тогда энергия магнитного поля W_m, создаваемого этими контурами,

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + M I_1 I_2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 .$$

Коэфф-ты L_1, L_2 называются индуктивностями, или коэффициентами самоиндукции, контуров 1 и 2. Коэфф. M называется взаимной индуктивностью этих двух контуров, или их коэффициентом взаимной индукции. Отсюда энергетическое определение И. контура 1: И. L_1 равняется удвоенной магнитной энергии, создаваемой контуром 1 при прохождении через него тока силою в 1 А. При отсутствии железа ($\mu = \text{Const}$) энергетич. определению И. тождественны два других. 1) Динамическое определение: И. контура равняется электрич. напряжению $e_{c.}$, индуктируемому в контуре (эдс самоиндукции), деленному на скорость уменьшения силы тока в контуре:

$$L_{\partial.} = -\frac{e_{c.}}{\frac{di}{dt}} .$$

2) Статическое определение: индуктивность контура равняется магнитному потоку Φ, окружающему этот контур, деленному на силу тока i в контуре:

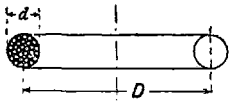
$$L_{cm.} = \frac{\Phi}{i} .$$

Аналогичные определения можно дать и для взаимной И. При наличии железа μ не остается постоянным, и различные определения И. не являются эквивалентными.

Знание индуктивности чрезвычайно важно для расчета линий передачи, электромагнитов, колебательных контуров, сложных антенн и т. д. Существует весьма большое число ф-л и таблиц, дающих возможность определять И. системы. Общей основой для расчета индуктивности может служить формула, дающая магнитную энергию контура

$$W_m = \frac{\mu}{2} \int_\tau d\tau' \int_\tau \frac{d\tau}{R} ii' . \qquad (1)$$

Здесь τ — объем, занимаемый данным контуром, $d\tau$, $d\tau'$—элементы объема в этом контуре, R—расстояние между ними, i, i'—значения векторов плотности тока соответственно



в местах, занимаемых элементами объема $d\tau$ и $d\tau'$, и μ — проницаемость. Интеграция производится дважды по всему объему τ. Если плотность тока распределена равномерно по контуру, то формула упрощается и принимает следующий вид:

$$W_m = i^2 \frac{\mu}{2} \int_\tau d\tau' \int \frac{d\tau \cos(i,i')}{R} . \qquad (1a)$$

Приведем данные для индуктивности L некоторых контуров.

1) Тонкая катушка, имеющая N витков, высоту l, диаметр D, толщину $s \ll l$ ($\mu = 1$).

Длинные катушки			Короткие катушки		
$\frac{D}{l}$	$\frac{L}{DN^2}$	$\frac{L}{lN^2}$	$\frac{l}{D}$	$\frac{L}{DN^2}$	$\frac{L}{lN^2}$
0,0	0,000	0,0000	1,0	6,795	6,795
0,1	0,946	0,0946	0,9	7,293	8,103
0,2	1,816	0,3633	0,8	7,872	9,840
0,3	2,617	0,7851	0,7	8,554	12,220
0,4	3,355	1,3421	0,6	9,371	15,618
0,5	4,038	2,0188	0,5	10,373	20,746
0,6	4,670	2,8018	0,4	11,643	29,107
0,7	5,257	3,680	0,3	13,333	44,44
0,8	5,804	4,643	0,2	15,783	78,91
0,9	6,315	5,684	0,1	20,067	200,67
1,0	6,795	6,795	0,0	∞	∞

2) Плоская катушка, имеющая N витков, внешний диаметр D, внутренний—d, высоту $h \ll \frac{1}{2}(D+d)$.

$\frac{d}{D}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\frac{L}{DN^2}$	3,485	4,278	5,256	6,429	7,823	9,487
$\frac{d}{D}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$\frac{L}{DN^2}$	11,507	14,044	17,458	22,871	∞	

3) Круглое кольцо. Число витков N (фиг.).

$$L = N^2 2\pi D \left\{ \ln \frac{8D}{a} \left[1 + 0{,}11 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right] - 1{,}75 - 0{,}0095 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right\} .$$

4) Петля из прямого и обратного цилиндрических проводов на расстоянии d друг от друга. Диаметр проводов r.

$$L = 0{,}921 \lg \left(\frac{d}{r}\right) + 0{,}1 \ \frac{\text{mH}}{km} .$$

5) Две параллельные полосы прямоугольного сечения $b \times h$, расстояние между внутренними поверхностями к-рых равно d ($d \parallel b$).

$$L = l \left[2 \left(2 + \frac{d}{b}\right)^2 \ln(h+2b+d) - 4\left(1+\frac{d}{b}\right)^2 \cdot \ln(h+b+d) + 2\left(\frac{d}{b}\right)^2 \ln(h+d) - 4\ln(h+b) \right] .$$

Если $d \cong 0$, то

$$L = 8l \cdot \ln\left(1 + \frac{b}{h+b}\right) .$$

Если, кроме того, $b \ll h$, то

$$L \cong \frac{8lb}{h+b} .$$

В случае линейного контура, образуемого проводом, поперечные размеры которого незначительны по сравнению с длиной, формула (1a) упрощается и принимает вид:

$$L = \int_K \int_K \frac{dr \cdot dr'}{R} = \int_K \int_K \frac{\cos\varepsilon \cdot ds \cdot ds'}{R} ,$$

где dr, dr'—элементы данного контура K, R—их расстояние, ε—угол между dr и dr'. Интеграция выполняется дважды по всему контуру K.

6) Для окружности радиуса a при цилиндрическом проводе с диаметром $2r$

$$L = 4\pi a \left[\left(1 + \frac{r^2}{8a^2}\right) \ln \frac{8a}{r} + \frac{r^2}{24a^2} - 1{,}75 \right] \cdot 10^{-9} \text{ H} .$$

7) Для квадрата, сторона которого a

$$L = 8a \left(\ln \frac{a}{r} + \frac{r}{a} - 0{,}774 + \mu\delta \right) \cdot 10^{-9} \text{ H},$$

где $\delta = 0{,}25$ при постоянном токе.

8) Для треугольника со сторонами a, b, c

$$L = 2\left\{ a \ln\frac{2a}{r} + b\ln\frac{2b}{r} + c\ln\frac{2c}{r} - (a+b+c)\right.\cdot$$
$$\cdot - (b+c)\operatorname{Ar\,sh} S_a - (c+a)\operatorname{Ar\,sh} S_b -$$
$$\left. - (a+b)\operatorname{Ar\,sh} S_c\right\}\cdot 10^{-9}\ \text{H},$$

где

$$S_a = \frac{c^2+b^2-a^2}{V},\quad S_b = \frac{a^2+c^2-b^2}{V},\quad S_c = \frac{b^2+a^2-c^2}{V},$$
$$V^2 = 2(a^2c^2 + a^2b^2 + b^2c^2) - a^4 - b^4 - c^4.$$

Для более сложных многоугольных контуров можно пользоваться упрощенным методом Баженова, сводящим И. мн-ков, обладающих тем же периметром l и той же площадью S, к простому выражению:

$$L = 2l\left(\ln\frac{2S}{rl} + \mu\delta - \varphi\right)\cdot 10^{-9}\ \text{H},$$

где при постоян. токе $\delta = {}^1/_4$, а φ определяется как ф-ия $\frac{l}{\sqrt{S}}$ (см. *Замкнутая антенна*).

При переменном токе приведенные формулы несколько изменяются, потому что плотность тока не распределяется больше равномерно по сечению провода, а вытесняется к его поверхности (см. *Скинэффект*). Магнитная энергия, связанная с контуром, м. б. в этом случае разбита на две части: магнитная энергия внутри провода и магнитная энергия вне провода, при чем перераспределение плотности тока внутри провода не влияет на внешнюю магнитную энергию. Т. о., можно и И. разбить на внешнюю И., не зависящую от частоты, и внутреннюю И., убывающую с увеличением частоты, проницаемости и сечения провода и возрастающую при увеличении удельного сопротивления провода. Внутренняя И. провода, имеющего длину l *см*, м. б. выражена ф-лой:

$$L_i = 2\mu l\delta\cdot 10^{-9}\ \text{H},$$

где $\delta = 0{,}25$ при постоянном токе, а при переменном—определяется уже по специальным таблицам. Обычно внутренняя И. провода незначительна по сравнению с И. контура, однако, для железных проводов, благодаря большому значению проницаемости, приходится считаться с этой И. (см. *Провода железные*).

Взаимная И. двух линейных контуров K и K' определяется по ф-ле:

$$M = \mu\int_K ds\int_{K'}\frac{\cos\varepsilon\cdot ds'}{R}\cdot 10^{-9}\ \text{H},$$

где ds, ds'—элементы длины контуров, ε—угол между ними, R—их расстояние. Так, два параллельных провода на расстоянии d друг от друга и при длине l имеют взаимную индуктивность

$$M = 2l\left[\ln\frac{l+\sqrt{l^2+d^2}}{d} - \frac{\sqrt{l^2+d^2}}{l} + \frac{d}{l}\right]\cdot 10^{-9}\ \text{H}.$$

При $l \gg d$ эта ф-ла упрощается:

$$M = 2l\left[\ln\frac{2l}{d} - 1 + \frac{d}{l}\right]\cdot 10^{-9}\ \text{H}.$$

Взаимная И. двух параллельных, конаксиальных колец с круглым сечением, расположенных на расстоянии x друг от друга, определяется по ф-ле:

$$M = 4\pi y\sqrt{Aa}\cdot 10^{-9}\ \text{H},$$

где A и a—радиусы колец, $y = \left(k - \frac{2}{k}\right)K + \frac{2}{k}E$,

$$k^2 = \frac{4Aa}{(A+a)^2 - x^2},\qquad K = \int_0^{\frac{\pi}{2}}\frac{d\varphi}{\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}},$$

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\varphi\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}.$$

Значения эллиптич. интегралов K, E определяются по особым таблицам.

Лит.: Баженов В. И., «ТиТбП», 1927, стр. 347; «Elektr. Nachrichtentechnik», B., 1929, p. 22; Abraham M., Theorie d. Elektrizität, B. 1, 7 Aufl., B.—Lpz., 1923; Emde F., «Die Elektrische Maschine», Pötzn, 1912, p. 221; Esau A., «Jahrbuch d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1911, B. 4, p. 212; Spielrein J., «Archiv für Elektrotechnik», B., 1915, B. 6, p. 187; Breisig F., Theoret. Telegraphie, Telegraphen- u. Fernsprechtechnik in Einzeldarstellung, hrsg. v. Th. Karrass, B. 7, 2 Aufl., Brschw., 1924; Orlich E., Kapazität u. Induktivität, ihre Begriffsbestimmung, Berechnung u. Messung, Brschw., 1909; «Scient. Papers of the Bureau of Standards», Wsh., *468*; Cohen L., Formulae a. Tables for the Calculation of Alternating Current Problems, N. Y., 1913; Noltage W. H., The Calculation a. Measurement of Inductance a. Capacity, L., 1916; Rosa E. B. a. Grover T. W., Formulae a. Tables for the Calculation of Mutual a. Self-Induction, «Bureau of Standards, Bull.», Wsh., 1912. **Я. Шпильрейн.**

ИНДУКТОР, генератор переменного тока, применяемый в телефонии для посылки вызова. Общий вид пятимагнитного индуктора представлен на фиг. 1; схема устройства И. показана на фиг. 2. Магнитное поле создается несколькими постоянными магнитами подковообразной формы. Якорь имеет двутавровое сечение и ось его укреплена на обыкновенных подшипниках. Полюсные наконечники выгнуты по форме якоря и обеспечивают зазор ок. 0,2 *мм*. Обмотка якоря обычно имеет большое число витков; один конец ее соединяется с корпусом, а другой—с контактной пружиной. Для получения необходимой скорости вращения якоря при-

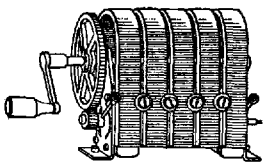
Характеристика наиболее распространенных типов индуктора.

Магниты	Число	2	2	4	5
	Высота в *мм*	80	140	140	144
Якорь	Длина в *мм*	48	51	88	100
	Диам. в *мм*	38	46	44	47,5
	Число витков	5 600	3 680	3 300	2 100
	Диам. проволоки	0,17	0,10	0,22	0,27
	Сопротивл. обмотки	365	570	200	110
Зубчатая передача		1 : 6,2	1 : 4,8	1 : 7	1 : 5,5
Сила тока в *mA* при 3 об/ск. ручки и при нагрузке:	500Ω	56	62	110	90
	1 000Ω	47	48	88	62
	1 500Ω	40	39	72	45
Напряжение в V		50	50	75	50
При нагрузке в Ω		1 500	1 000	1 300	300
Вес в *кг*		1,2	2,0	3,87	5,2

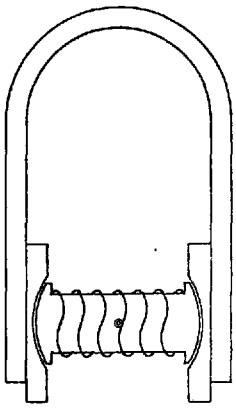
Примечание. Напряжение холостого хода И. около 120—150 V.

меняется зубчатая передача, при чем маленькая шестерня насажена на ось, большая укреплена на стойке. В таблице даны величины, характеризующие наиболее распространенные типы индуктора.

Указанные выше И. ручного типа применяются в аппаратах местной батареи и в коммутаторах станций небольших емкостей.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

На станциях с большой нагрузкой применяются машинные И., т. е. приводимые в движение электромотором. Форма кривой тока индуктора не чисто синусоидальная. **М. Касьянов.**

ИНДУКЦИИ ЗАКОН, открытый Фарадеем (1832 г.), обычно формулируется след. обр.: «при изменении потока магнитной индукции, проходящего через замкнутый электрический контур, в этом контуре возникает индуктированная электродвижущая сила, пропорциональная числу магнитных силовых линий, перерезывающих за единицу времени данный контур». Число N силовых линий, или, вернее, «силовых трубок», определяют т. о., чтобы их плотность, т. е. количество трубок, приходящееся на единицу площади поперечного сечения, численно равнялось магнитной индукции B, выражаемой в гауссах. При таких условиях И. з. выражается математической ф-лой:

$$\Sigma Ri = -\frac{dN}{dt}, \qquad (1)$$

где ΣRi—сумма падений напряжения во всех частях замкнутого контура. По закону Кирхгофа, эта сумма при отсутствии эдс должна равняться нулю; поэтому выражение $-\frac{dN}{dt}$ называют эдс индукции. Эта эдс направлена всегда т. о., чтобы противодействовать причине, создающей индуктированный ток (закон Ленца). Картина силовых трубок, перерезывающих проводник, помогает быстро ориентироваться в распределении индуктированных токов, однако, в сложных случаях эта картина может вместо облегчения способствовать затемнению вопроса. И, действительно, большое число изобретателей под влиянием этого представления тратят много времени для создания невозможных усовершенствований, гл. обр. в области униполярных машин (см. *Динамомашина*). В настоящее время более целесообразно иначе подходить к истолкованию явлений индукции. Мы будем различать два случая: 1) когда все тела неподвижны относительно наблюдателя и 2) когда они перемещаются.

Неподвижные тела. Закон Кирхгофа применим только в случае стационарного поля, когда отсутствуют вихри вектора напряженности электрич. поля. В этом случае все электрич. силовые линии, к-рые можно нарисовать в поле, имеют начало и конец. Электрич. поле создается зарядами или эдс аккумуляторов, термоэлементов и т. п. Закон Кирхгофа оказывается неприменимым при нестационарном поле. Если магнитный поток изменяется по времени, то это явление всегда связано с наличием вихревого электрического поля. Электрич. силовые линии, изображающие это поле, не имеют ни начала ни конца. Т. о., линейный интеграл вектора напряженности электрич. поля, или, что то же самое, электрич. напряжение вдоль замкнутой линии, охватывающей пульсирующий поток, не равно нулю. Скорость уменьшения магнитного потока называется магнитным спадом, $-\frac{d\Phi}{dt}$ (поток считается положительным в направлении, связанном по правилу штопора с положительным направлением, выбранным вдоль замкнутой линии, охватывающей поток). Поэтому И. з. в неподвижных относительно наблюдателя телах можно формулировать след. обр.: электрическое напряжение U по замкнутому контуру, охватывающему магнитный поток, равняется магнитному спаду. В знаках:

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad (2)$$

или

$$\oint_L \boldsymbol{E}\, d\boldsymbol{r} = -\frac{d}{dt}\int_S \boldsymbol{B}\, d\boldsymbol{S}. \qquad (3)$$

Так как, по теореме Стокса,

$$\oint_L \boldsymbol{E}\, d\boldsymbol{r} = \int_S \operatorname{rot} \boldsymbol{E}\, d\boldsymbol{S},$$

то ф-лу (3) можно выразить в дифференциальной форме в виде ур-ия

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{E} = -\frac{d\boldsymbol{B}}{dt}. \qquad (4)$$

Это—одно из ур-ий Максвелла. Электрич. поле связано с пульсирующим магнитным потоком независимо от наличия проводников в поле. Если насадить на стержень трансформатора кольцевую вакуумную трубку, то движение электронов, находящихся в этой трубке, будет ускоряться в вихревом электрич. поле, окружающем трансформатор. Если заменить вакуумную трубку обыкновенным медным витком, то этот медный виток будет играть роль зонда, позволяющего обнаружить наличие электрич. поля, существовавшего вокруг трансформатора и до помещения витка. Напряжение обхода в этом витке отлично от нуля не потому, что в нем возникает эдс, а потому, что поле переменного тока, существующее в трансформаторе, не статическое, в нем нет потенциала, и напряжение обхода по замкнутому витку равно магнитному спаду. Формально магнитный спад играет роль эдс. Когда говорят об индуктированной эдс, то этим хотят для удобства нестатическое электрическое поле формально рассматривать как статическое. Правильнее говорить об индуктированном напряжении,