М.С. Кузьмин
П.А. Овчинников

ВЫТЯЖНЫЕ И ВОЗДУХО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1987

ББК 38.762.2
К 89
УДК 697.92

Печатается по решению секции литературы по инженерному оборудованию редакционного совета Стройиздата.

Рецензент — канд. техн. наук Е. О. Шилькрот (ЦНИИпромзданий Госстроя СССР).

Кузьмин М. С., Овчинников П. А.

К 89 Вытяжные и воздухораспределительные устройства. — М.: Стройиздат, 1987. — 168 с.: ил.

Рассмотрены основные закономерности развития свободных и стесненных турбулентных струй воздуха, методы расчетов струйных течений в помещении, схемы организации воздухообмена, принципы действия и конструкции местных отсосов и воздухораспределительных устройств. Описаны способы организации локальной вентиляции в зданиях различного назначения и методика проведения наладочных работ местных отсосов и воздухораспределительных устройств.

Для инженерно-технических работников проектных, пусконаладочных организаций и служб эксплуатации.

К $\frac{3206000000-647}{047(01)-87}$ 169—86

ББК 38.762.2

Производственное издание

МИХАИЛ СТЕПАНОВИЧ КУЗЬМИН, ПЕТР АЛЕКСАНДРОВИЧ ОВЧИННИКОВ

ВЫТЯЖНЫЕ И ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Редакция литературы по инженерному оборудованию
Зав. редакцией И. В. Соболева
Редактор С. И. Погудина
Младший редактор Н. И. Романова
Технический редактор М. В. Павлова
Корректор Е. Б. Тотмина

ИБ № 3599

Сдано в набор 08.08.86. Подписано в печать 17.11.86. Т-23609.
Формат 60×90 1/16. Бумага книжно-журнальная имп. Гарнитура «Литературная»
Печать высокая. Усл. печ. л. 10,5 Усл. кр.-отт. 10,75. Уч.-изд. л. 11,62.
Тираж 13800 экз. Изд. № АУ1-574. Заказ № 202/85. Цена 60 коп.

Стройиздат. 101442 Москва, Каляевская 23а

Набрано в Московской типографии № 13 ПО «Периодика» ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 107005, Москва, Б-5, Денисовский пер., д. 30
Отпечатано в Подольском филиале ПО «Периодика» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 142110, г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

© Стройиздат, 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

Принятые XXVII съездом КПСС новая редакция Программы КПСС и Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года предусматривают в качестве одной из основных задач неуклонное улучшение условий труда и быта советских людей, последовательное проведение линии на значительное уменьшение ручного труда, существенное сокращение, а в перспективе ликвидацию монотонного, тяжелого физического и малоквалифицированного труда, на обеспечение здоровых санитарно-гигиенических условий на производстве, внедрение совершенной техники безопасности, устраняющей производственный травматизм и профессиональные заболевания.

Существенная роль в решении этих проблем принадлежит таким инженерно-техническим средствам, как вентиляция и кондиционирование воздуха. С помощью вентиляции и кондиционирования воздуха обеспечивается наиболее благоприятное для здоровья и самочувствия работающих состояние воздушной среды в производственных помещениях, что, в свою очередь, способствует повышению работоспособности людей и росту производительности труда. Вентиляция и кондиционирование воздуха играют важнейшую роль на ряде предприятий машиностроительной, химической, текстильной, радиоэлектронной и других отраслей промышленности, где без них невозможно ведение многих технологических процессов.

На устройство и эксплуатацию систем вентиляции и кондиционирования воздуха в нашей стране ежегодно расходуются огромные средства. Доля эксплуатационных затрат на вентиляцию и кондиционирование воздуха может составить 60—70 % общих расходов на эксплуатацию здания. Поэтому важно не только обеспечивать нормальное санитарно-гигиеническое состояние воздушной среды в помещениях, но и добиваться наиболее рационального и экономичного инженерного решения при устройстве систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Неудачно принятая схема воздухообмена производственного помещения может привести к созданию неудовлетворительных условий воздушной среды в рабочей или обслуживаемой зоне.

При воздушном отоплении неправильно организованное воздухораспределение может вызвать перегрев верхней и недогрев рабочей зон, что влечет за собой перерасход теплоты на отопление верхней части помещения и нарушение теплового микроклимата в зоне нахождения людей.

Большое влияние на подвижность воздуха в рабочей и обслуживаемой зонах оказывают приточные устройства. Ошибка в подборе или размещении воздухораспределителей может привести к повышенной подвижности воздуха в зоне пребывания людей, вызовет их жалобы и даже заболевания.

Очень важна работа вытяжных вентиляционных устройств. Эффективность вентиляции в значительной степени определяется возможностью своевременного удаления загрязненного воздуха из помещения. Применение местных вентиляционных отсосов позволяет локализовать очаг загрязнения в производственном помещении и удалять вредные примеси непосредственно от мест их образования.

Данная книга ставит своей целью ознакомить инженерно-технических работников, занимающихся монтажом, наладкой и эксплуатацией систем вентиляции и кондиционирования воздуха, с применяемыми в настоящее время в помещениях промышленных и гражданских зданий вытяжными и воздухораспределительными устройствами. Изложенные в книге методы расчетов вытяжных и воздухораспределительных устройств основаны на известных закономерностях струйных течений, используемых в вентиляционной технике.

Предисловие, гл. I, II и V написаны канд. техн. наук *М. С. Кузьминым*, гл. III и VI — канд. техн. наук *П. А. Овчинниковым*, гл. IV — канд. техн. наук *А. А. Колмаковым*.

Авторы выражают искреннюю признательность канд. техн. наук *Е. О. Шилькроту* за ценные критические замечания и советы, высказанные при рецензировании рукописи.

ГЛАВА I. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

1.1. Физические свойства воздуха

Атмосферный воздух состоит из смеси сухих газов и водяных паров. В состав газов по объему входят: 78 % азота, около 21 % кислорода, около 0,03 % углекислоты, незначительное количество инертных газов, водорода, озона, а также то или иное количество водяных паров. Состояние воздуха определяется давлением, температурой, влажностью, энтальпией и характеризуется плотностью.

Давление воздуха. Большое влияние на самочувствие человека оказывает атмосферное давление. Давление воздуха обычно замеряют барометром и поэтому атмосферное давление иногда называют барометрическим. Согласно закону Дальтона, барометрическое давление воздуха можно представить как систему парциальных давлений сухого воздуха и водяных паров:

$$p = p_{с.в} + p_{п}. \qquad (1.1)$$

В вентиляционной технике различают давление: абсолютное, избыточное (сверхатмосферное) и разрежение (вакуум). Под абсолютным давлением подразумевают полное давление с учетом атмосферного, под которым находится воздух в помещении. Абсолютное давление равно сумме атмосферного и избыточного давлений или разности атмосферного давления и разрежения. Избыточное давление измеряют манометром. Разрежение (вакуум) замеряют вакуумметром, небольшое разрежение — тягомером.

Температура воздуха. Для оценки теплового состояния вещества используется температура — параметр, характеризующий степень его нагрева. Согласно молекулярно-кинетической теории, температура прямо пропорциональна средней кинетической энергии теплового движения частиц.

Передача теплоты от одного тела к другому может происходить только при наличии разности температур — от более нагретого тепла к менее нагретому, т. е. тепловой поток всегда самопроизвольно направляется в область, имеющую низкую температуру.

Влажность воздуха. Различают абсолютную и относительную влажность воздуха. Под абсолютной влажностью понимают количество водяного пара в граммах, содержащегося в 1 м^3 воздуха. Так как в 1 м^3 воздуха содержится 1 м^3 водяного пара, то, следовательно, абсолютная влажность численно равна массе единицы объема водяного пара. В метеорологии абсолютную влажность воздуха обычно определяют как парциальное давление водяного пара, выраженное в Па или мм рт. ст. Максимальную абсолютную влажность называют влагоемкостью воздуха.

Под относительной влажностью воздуха понимают отношение его абсолютной влажности $\varphi_а$ к максимально возможной при данной температуре, т. е. к влажности в состоянии полного насыщения воздуха влагой: $\varphi = \varphi_а/\varphi_н$. Относительную влажность воздуха в вентиляции обычно замеряют психрометром.

Наряду с понятием абсолютной и относительной влажности часто пользуются понятием влагосодержания воздуха. Влагосодержание воздуха определяется количеством водяного пара в граммах, приходящегося на 1 кг сухого воздуха. Влагосодержанием удобно пользоваться при расчетах, так как при переходе от одной температуры и влажности воздуха к другой не надо вводить поправок на изменение объема и массы воздуха.

Как известно, в интервале температуры от $-30°$ до $+150°C$ воздух и водяной пар подчиняются законам для идеальных газов и для них справедливо уравнение Клайперона:

для сухого воздуха

$$p_{с.в}V=G_{с.в}R_{с.в}T; \tag{1.2}$$

для водяного пара

$$p_{п}V=C_{п}R_{п}T, \tag{1.3}$$

где $p_{с.в.}$, $p_{п}$ — давление соответственно сухого воздуха и водяного пара (Па); $R_{с.в.}$ и $R_{п}$ — газовые постоянные сухого воздуха и пара ($R_{с.в}=287$ Дж/(кг·К); $R_{п}=461$ Дж/(кг·К); V — объем сухого воздуха и пара, м^3; T — абсолютная температура сухого воздуха и пара, К.

Объемы сухого воздуха и водяных паров, а также их температуры приняты одинаковыми. Смешав сухой воздух с водяными парами, из совместного решения уравнений (1.2) и (1.3) найдем влагосодержание, г/кг, влажного воздуха:

$$d=G_{п}/G_{с.в}=622p_{п}/p_{с.в}. \tag{1.4}$$

или с учетом выражения (1.1) получим:

$$d=622p_{п}/(p-p_{п}). \tag{1.5}$$

Из этого уравнения следует, что при данном барометрическом давлении влагосодержание зависит только от парциального давления водяного пара.

Энтальпия (теплосодержание) воздуха. Количество теплоты, содержащееся во влажном воздухе, сухая часть которого имеет массу 1 кг, называется энтальпией воздуха и определяется как

$$I=c_{с.в}t+(r_0+c_{п}t)d, \tag{1.6}$$

где $c_{с.в.}$ — удельная теплоемкость сухого воздуха, равная 1 кДж/(кг·К); $c_{п}$ — удельная теплоемкость водяных паров, равная 1,89 кДж/(кг·К); r_0 — скрытая теплота испарения воды при температуре 0°С, равная 2500 кДж/кг.

Уравнения (1.5) и (1.6) послужили основанием проф. Л. К. Размину для составления $I-d$-диаграммы влажного воздуха (рис. I.1), с помощью которой удобно выполнять инженерные расчеты. Для возможности широкого практического использования энтальпия на рис. I.1 приведена в кДж/кг и в ккал/кг. $I-d$ -диаграмма, составленная для определенного барометрического давления, позволяет по двум известным параметрам (например, температуре воздуха и относительной влажности) определить все остальные параметры, характеризующие данное состояние влажного воздуха.

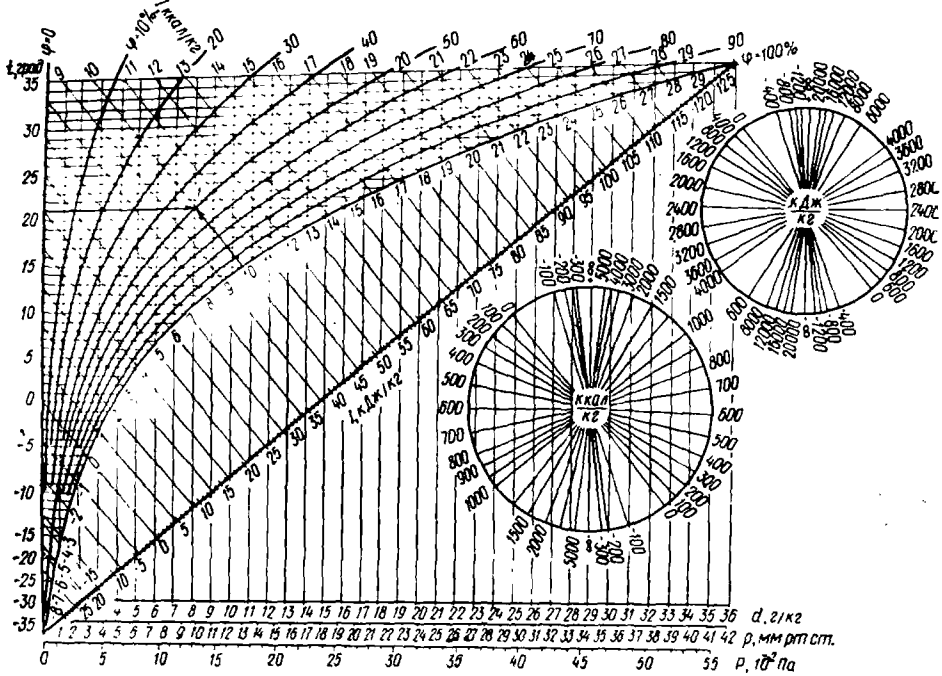


Рис. I.1. $J-d$-диаграмма влажного воздуха при барометрическом давлении 1013,25 гПА

При расчетах по $I-d$ -диаграмме часто пользуются понятием температуры точки росы и температуры мокрого термометра. Температура точки росы $t_р$ — это температура охлажденного при постоянном влагосодержании воздуха, достигшего 100 % относительной влажности. Температура по мокрому термометру — это температура охлажденного при постоянной энтальпии воздуха, достигшего 100 % относительной влажности.

Пример I.1. Температура влажного воздуха по сухому термометру составляет 21 °С, по мокрому — +15 °С. Определить относительную влажность и влагосодержание влажного воздуха, энтальпию влажного и сухого воздуха.

Решение. С помощью графического построения (см. рис. I.1) находим точку I, характеризующую состояние влажного воздуха.

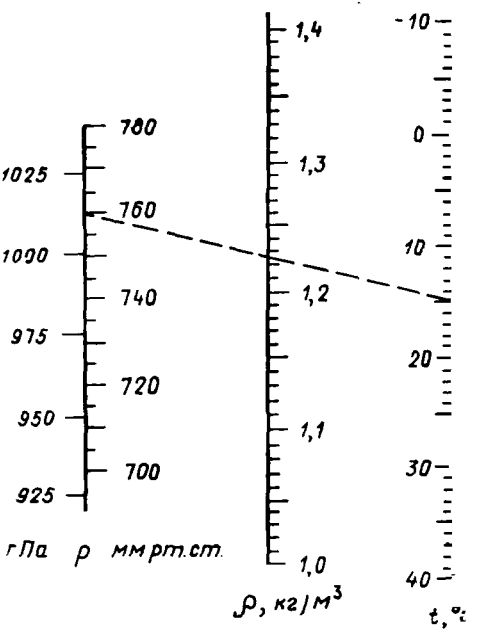
Определяем: $\varphi=50$ %; $d=8$ г/кг; $I=42$ кДж/кг; $I_{с.в}=21$ кДж/кг.

Плотность воздуха. Плотностью воздуха называется отношение массы вещества m, кг, к его объему V, м³:

$$\rho=m/V. \qquad (I.1)$$

Согласно уравнению (I.2), плотность сухого воздуха зависит от давления и температуры. Для определения плотности сухого воздуха можно воспользоваться номограммой (рис.1.2). Например при температуре 15 °С и давлении 1013,25 гПа плотность воздуха равна 1,225 кг/м³.

Рис. 1.2. Номограмма для определения плотности сухого воздуха в зависимости от температуры и давления



Следует отметить, что плотность влажного воздуха несколько меньше плотности сухого, но в пределах температуры, характерной для вентиляции, эта разница весьма незначительна. Так, при увеличении относительной влажности с 50 до 100 % плотность воздуха уменьшается всего на 0,5 %. Поэтому при расчетах систем вентиляции и кондиционирования воздуха плотность влажного воздуха можно принимать равной плотности сухого воздуха при тех же температуре и давлении.

При нормальном атмосферном давлении ($p = 1013{,}2$ гПа) плотность сухого воздуха можно определить по формуле

$$\rho_{с.в} \approx 353/T. \qquad (1.8$$

1.2. Нормирование параметров воздушной среды

Микроклимат помещения определяется сочетанием таких физических параметров, как температура внутреннего воздуха, радиационная температура или интенсивность облучения, скорость движения воздуха, относительная влажность и загрязненность воздуха вредными примесями.

При нормировании параметров воздушной среды учитывают определенные диапазоны их сочетаний. Различают оптимальные и допустимые параметры воздушной среды в помещении. Оптимальные параметры, по данным гигиенистов, представляют собой такое сочетание параметров воздушной среды, при систематическом воздействии которого на человека обеспечивается сохранение нормального и функционального состояния организма без напряжения

реакций терморегуляции, создается ощущение теплового комфорта, что способствует высокому уровню работоспособности.

Допустимые параметры представляют собой такое сочетание параметров воздушной среды, при котором не возникает повреждений или нарушений здоровья у людей, но могут наблюдаться дискомфортные тепловые ощущения, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Допустимые параметры при длительном или систематическом воздействии на человека могут вызвать преходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма и напряжения реакций терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительских возможностей человека.

Наиболее благоприятное сочетание параметров внутреннего воздуха в помещении, т. е. оптимальное, обычно создается системами кондиционирования воздуха. Допустимые параметры, как правило, могут быть обеспечены обычными системами отопления и вентиляции.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны сформулированы в ГОСТ 12. 1. 005 — 76. При выборе расчетных параметров внутреннего воздуха необходимо также руководствоваться соответствующими требованиями СНиП или характеристикой производственного помещения, устанавливаемой соответствующими ведомственными нормативными документами с учетом категории тяжести работ, которыми заняты 50 % и более работающих в данном помещении. В зависимости от затрат человеком энергии установлены следующие категории физических работ:

I — легкие с энергозатратами до 172 Вт;

II а — средней тяжести с энергозатратами 172 — 232 Вт;

II б — средней тяжести с энергозатратами 232 — 293 Вт;

III — тяжелые с энергозатратами более 293 Вт.

Нормирование параметров воздушной среды производится в рабочей зоне производственного здания, включающей в себя пространство высотой до 2 м от уровня пола или площадки, на которой находятся люди или имеются постоянные рабочие места, и в обслуживаемой зоне.

Обслуживаемой зоной в общественных, жилых и вспомогательных зданиях считают пространство высотой до 2 м от уровня пола, а в помещениях, где люди находятся главным образом в сидячем положении (учебные заведения, административные помещения, зрелищные залы, рестораны, столовые и т. д.), — пространство высотой до 1,5 м от уровня пола.

Оптимальные параметры внутреннего воздуха зданий приведены в табл. I.1.

Допустимые параметры воздушной среды в обслуживаемой зоне общественных, жилых и вспомогательных зданий производственных предприятий приведены в табл. I.2.

Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в производственных зданиях (при установленной норме обеспеченности) принимаются с учетом климати-

Таблица 1.1

Здания	t, °С	φ, %	v, м/с (не более)
Производственные с категорией работ:			
I	20—23 / 22—25	60—40	0,2
II а	18—20 / 21—23	60—40	0,2 / 0,3
II б	17—19 / 20—22	60—40	0,3 / 0,4
III	16—18 / 18—21	60—40	0,3 / 0,5
Жилые, общественные и вспомогательные	20—22 / 20—25	45—30 / 60—30	0,1—0,15 / 0,25

Примечание. Над чертой указаны параметры в холодный и переходный периоды года, под чертой — в теплый период года.

Таблица 1.2

Период года	t, °С	φ, %	v, м/с
Холодный и переходный ($t_н < 10$ °С)	18—22	$\leqslant 65$	$\leqslant 0{,}3$
Теплый ($t_н \geqslant 10$ °С)	$\leqslant 3 + t^н_{расч}$	$\leqslant 65$	$\leqslant 0{,}5$

Примечание. В помещениях общественных зданий с кратковременным пребыванием людей в холодный период года следует принимать температуру воздуха 16 °С.

ческих особенностей районов Советского Союза. Так, для районов с расчетной наружной температурой для теплого периода года +25 °С и ниже допустимые параметры воздуха в рабочей зоне приведены в табл. 1.3. Для районов с расчетной наружной температурой более +25 °С допустимые нормы воздушной среды в рабочей зоне определяются по табл. 1.4; для холодного и переходного периодов принимаются по ГОСТ 12.1.005—76.

При воздействии на работающего в производственном помещении лучистого тепла интенсивностью 350 Вт/м² при суммарной длительности облучения 15—30 мин может применяться воздушное душирование. Допустимые температуру и скорость движения воздуха при воздушном душировании при $t_{р.з}$ до 28 °С принимают по табл. 1.5.

Независимо от принятых в расчетах метеорологических условий содержание в воздухе рабочей зоны помещений вредных газов, па-

Таблица I.3

Категория работ	t, °С	φ,	v, м/с, в помещениях с избытками явного тепла, Вт/м³	
			⩽ 23	> 23
I	⩽28	⩽55 при 28 °С	0,2—0,5	0,2—0,5
II а			0,2—0,5	0,3—0,7
II б			0,3—0,7	0,5—1,0
III	⩽26	⩽65 при 26 °С	0,3—0,7	0,5—1,0

Примечание. Температура воздуха на постоянных рабочих местах и вне их при установленной норме обеспеченности в теплый период года не должна превышать расчетную наружную температуру более чем на 3 °С — в помещениях с теплоизбытками до 23 Вт/м² и более чем на 5 °С — в помещениях с теплоизбытками свыше 23 Вт/м².

Таблица I.4

Категория работ	t°, С, в помещениях с избытками явного тепла, Вт/м³		φ, %	v, м/с
	⩽ 23	> 23		
I	⩽31	⩽33	⩽50 при 29—33 °С	0,2—0,5
II а				0,5 при 28 °С
II б	⩽30	⩽32	⩽50 при 29—33 °С	0,9 при 28 °С
III	⩽29	⩽31		1,3 при 28 °С

Примечание. Температура воздуха на постоянных рабочих местах при установленной норме обеспеченности не должна превышать расчетную наружную температуру более чем на 3 °С — при работе легкой и средней тяжести и более чем на 1 °С — при тяжелой работе, вне рабочих мест — на 5 °С.

ров и пыли не должно превышать предельно допустимых концентраций.

В современной промышленности перечень вредно влияющих на человека выделяющихся паров и газов чрезвычайно разнообразен. Если вредные газы весьма многочисленны и различны по своим свойствам, то вредные пары во многом сходны между собой (за исключением паров ртути). Они, как правило, представляют собой пары легколетучих жидкостей. Обычно это углеводороды, спирты и эфиры жирного и ароматического ряда и их производные. Единственным металлом, заметно испаряющимся при комнатной температуре, является ртуть, все прочие металлы испаряются только при относительно высоких температурах, окисляются воздухом

Таблица 1.5

Категория работ	v, м/с	t душирующие струи, °С, при интенсивности облучения, Вт/м²				
		350	700	1400	2100	2800
I	1	28	24	21	16	—
	2	—	28	26	24	20
	3	—	—	28	26	24
	3,5	—	—	—	27	25
II	1	27	22	—	—	—
	2	28	24	21	16	—
	3	—	27	24	21	18
	3,5	—	28	25	22	19
III	2	25	19	16	—	—
	3	26	22	20	18	17
	3,5	—	23	22	20	19

Примечания: 1. При длительности облучения менее 15 мин или более 30 мин температуру в душирующей струе следует принимать соответственно на 2 °С выше или ниже. 2. При большей температуре в рабочей зоне температуру в душирующей струе следует понижать на 0,4 °С на каждый градус повышения температуры в рабочей зоне, но не ниже +16 °С.

образуя окислы, — твердые вещества. Твердые вещества попадают в воздух в виде мельчайших частиц, создающих дымы — аэрозоли. Цинк, испаряясь, образует окись цинка, свинец — окись свинца, мышьяк — мышьяковый и мышьяковистый ангидрид и т. д. Пары металлов следует рассматривать как аэрозоли, состоящие из смеси окислов металлов и мельчайших металлических частиц.

Вредные промышленные газы классифицируют по характеру их действия на человека и разделяют на отравляющие (фосфор, ртуть, мышьяковистые и металлоорганические соединения и др.), удушающие (окись углерода, синильная кислота и др.), раздражающие (хлор, хлористый и фтористый водород, сернистый газ, сероводород и др.), наркотические (бензин, бензол, сероуглерод, анилин, нитробензол и др.) Степень ядовитости вредного газа характеризуется предельно допустимым содержанием его в воздухе помещения при длительном пребывании в нем людей. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных газов, паров и пыли приведены в ГОСТ 12.1.005 — 76.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия сумма их относительных концентраций должна соответствовать расчетной формуле

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \ldots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leqslant 1, \qquad (1.9)$$

где C_1, C_2, ..., C_n — фактические концентрации вредных веществ в воздухе; ПДК_1, ПДК_2, ..., ПДК_n — и их предельно допустимые концентрации.

Допустимое количество пыли в воздухе помещений нормируется в зависимости от состава и размеров пылинок. Весьма опасна для человека пыль, содержащая двуокись кремния (SiO_2), окись свинца и др. Мельчайшие частички свинцовой пыли, попавшие в организм, вызывают хроническое отравление. Чем мельче пыль, тем она вреднее, так как может глубоко проникать в дыхательные пути. Некоторые виды пыли в определенной концентрации, кроме того, взрывоопасны (мучная, сахарная, крахмальная и т. д.).

Важным показателем санитарного состояния воздуха в помещении является количество находящихся в нем микроорганизмов, число которых увеличивается при загрязнении воздуха пылью. Воздух считается загрязненным, если в 1 м^3 находится более 4,5 тыс. микроорганизмов.

Следует отметить, что кроме гигиенических требований, к воздушной среде производственных помещений часто предъявляют технологические требования в отношении чистоты, температуры, влажности и подвижности воздуха. Так, на некоторых предприятиях радиоэлектронной, электровакуумной, текстильной и другой промышленности многие технологические процессы вообще не могут осуществляться при нарушении заданного метеорологического режима. При проектировании систем вентиляции в таких производствах следует руководствоваться соответствующими ведомственными нормами, утвержденными в установленном порядке.

1.3. Источники вредных выделений в помещениях промышленных и гражданских зданий

Химический состав воздуха в помещении зависит от длительности пребывания в нем людей, работы технологического оборудования, эффективности действующей вентиляции и т. д. Необходимость устройства вентиляции помещения обычно вызывается вредными выделениями, отрицательно влияющими на состояние воздушной среды. К ним относятся тепло- и влагоизбытки, паро- и газовыделения, пыль и аэрозоли твердых и жидких веществ. Пыль, газы и пары вредных веществ поступают в воздух производственных помещений при различных технологических процессах, они могут выделяться от различных обрабатываемых материалов, с поверхности покрытых или пропитанных вредными веществами изделий, через неплотности резервуаров и аппаратов, заполненных вредными веществами, с поверхности ванн и т. д. Поэтому одним из важнейших способов борьбы с вредными выделениями является герметизация технологического оборудования и внедрение в производство наиболее прогрессивных технологических операций.

Специалист по вентиляции должен представлять технологический процесс, происходящий в производственном помещении, чтобы на начальной стадии проектирования знать, с какими вредными веществами и в каких условиях придется бороться.

Часто встречающиеся в промышленных и гражданских зданиях тепловыделения приводят к созданию в помещении тепловых из-

бытков. Одним из основных источников тепловыделений в производственных помещениях являются технологическое оборудование и материалы.

Технологическое оборудование и технологические процессы, связанные с термической или механической обработкой материалов (литейное или кузнечно-прессовое производство, подогреваемое оборудование термических, металлообрабатывающих, сушильных отделений и цехов и т. д.), выделяют в помещение значительное количество теплоты. При подсчете тепловыделений, кроме теплоты от нагретых поверхностей оборудования и материалов, необходимо учитывать теплоту, поступающую в помещение с воздухом и газами, прорывающимися из-под укрытий оборудования. Источниками тепловыделений в помещениях являются также искусственное освещение, солнечная радиация и люди.

Количество теплоты, поступающей в помещение от источников искусственного освещения, обычно оценивают по мощности светильников. При этом предполагают, что вся энергия, затрачиваемая на освещение, полностью переходит в теплоту. Принято считать, что в помещение теплота от солнечной радиации поступает через покрытия и световые проемы. При необходимости снижения теплопоступлений от солнечной радиации используют затенение световых проемов, покрытие светлой краской наружных ограждений, устройство ставен и жалюзей, а иногда и охлаждение покрытий кровли водой.

Источниками выделения влаги в жилых и общественных зданиях являются открытые водные поверхности, с которых происходит испарение, материал, высыхающий в помещении, и т. д. Следует также отметить, что обычно оштукатуренные известковым раствором стены хорошо впитывают в себя влагу и довольно легко ее испаряют. Так, в зимнее время при понижении относительной влажности в помещении начинается испарение влаги из толщи стен, вследствие чего относительная влажность в нем повышается, достигая примерно 30 %, тогда как по расчету она должна быть не более 5 — 10 %.

В производственных помещениях возможными источниками выделения влаги являются технологические процессы, связанные с обработкой влажных материалов или с применением пара. Часто вода используется для охлаждения горячих поверхностей (например, для охлаждения валков или резцов), для обеспыливания участков дробления и пересыпок материалов, для защиты от лучистого тепла открытых дверок печей и т. д.

Водяные пары могут поступать в воздух вследствие испарения с поверхностей или кипения либо в результате непосредственного прорыва пара из аппаратов или трубопроводов. Избыточная влага в воздухе часто ведет к образованию тумана, т. е. паро-воздушной смеси, в которой взвешены мельчайшие капельки воды. Образование тумана может произойти из-за поступления водяных паров в большем количестве, чем то, которое может содержаться в насыщенном состоянии в воздухе помещения при данных условиях (температура и давление); из-за охлаждения насыщенного воздуха

при соприкосновении с холодными поверхностями, имеющими температуру ниже точки росы, а также при смешивании теплого влажного воздуха с холодным.

Вредные газы, пары и аэрозоли могут поступать в помещение вследствие различных причин: химические реакции в негерметичной аппаратуре, прорывы через неплотности трубопроводов и аппаратов, работающих под давлением, испарение с открытой поверхности, непосредственное поступление в помещение.

Определение источников поступающих в помещение паров, газов и аэрозолей возможно, когда технология производства хорошо изучена, а технологическое оборудование испытано. Однако во многих отраслях химической промышленности, когда реакции протекают в закрытой аппаратуре, при неорганизованных прорывах газов, при их транспортировке и хранении, количество поступающих в воздух вредных выделений почти не поддается учету.

Для газо- и парообразных, а также дымоподобных вредных веществ важно правильно представлять условия их выделения: идет горячий или холодный процесс, происходит струйное или поверхностное выделение газа, имеются ли направленные токи воздуха, создаваемые работой механизмов. При этом необходимо знать точное местоположение источника вредных выделений по отношению к работающему.

Для стен, потолков и поверхностей ограждающих конструкций помещений, в которых размещены производства с выделением вредных или агрессивных веществ (например, ртути, свинца, мышьяка, соединений марганца, бензола, сернистого газа и т. д.), следует предусматривать отделку, предотвращающую сорбцию и допускающую легкую уборку и мытье.

Динамика распространения газов, паров и аэрозолей по помещению имеет большое значение. Если при тепло- и влаговыделениях местные превышения допустимых параметров тепла и влаги безопасны для человека, то при выделениях газов, паров и аэрозолей местные повышения концентраций могут оказаться опасными, а иногда смертельными.

Газы, пары и аэрозоли почти никогда не распространяются по помещению равномерно как по горизонтали, так и по вертикали. Это, с одной стороны, хорошо, так как имеется возможность удалять их из зоны наибольшей концентрации. С другой стороны, эта особенность может стать опасной, если человек окажется в зоне повышенной концентрации вредных веществ вследствие непродуманного размещения рабочих мест или неправильно сконструированной вентиляции.

I.4. Определение количества вредных выделений

Необходимость определения количества вредных выделений связана, главным образом, с расчетом потребного воздухообмена помещения. При общеобменной вентиляции для расчета воздухообмена необходимо знать количество вредных выделений в воздух

помещения в единицу времени. Это производится путем аналитических подсчетов или на основании экспериментальных данных. В последнем случае пользуются проверенными опытными данными, полученными в аналогичных технологических условиях, или непосредственно определяют их в натуре.

Для экспериментального определения количества вредных выделений, поступающих в воздух помещения, необходимо измерить количество воздуха, проходящего через исследуемое помещение, температуру и влажность воздуха, концентрацию в нем примесей на входе и выходе из помещения. На основании полученных данных составляют баланс по теплу, влаге или газам. В помещении, где одновременно выделяются разные по характеру газы, баланс составляют по тому газу, для ассимиляции которого требуется наибольшее количество вентиляционного воздуха. При выделении в воздух помещения нескольких газов однонаправленного действия балансы составляются по каждому газу.

Уравнение теплового баланса в общем случае имеет вид:

по полной теплоте

$$Q_{полн} + \sum_{1}^{n} G_{пр} I_{пр} = \sum_{1}^{m} G_{у} I_{у}; \qquad (I.10)$$

по явной теплоте

$$Q_{явн} + c \sum_{1}^{n} C_{пр} t_{пр} = c \sum_{1}^{m} G_{у} t_{у}, \qquad (I.11)$$

где $Q_{полн}$ и $Q_{явн}$ — полные и явные теплоизбытки в помещении, Вт; $G_{пр}$ и $G_{у}$ — расходы воздуха, поступающего в помещение от одной из приточных установок (общее число их n) и удаляемого из помещения одной из вытяжных установок (общее число их m), кг/ч; $I_{пр}$ и $I_{у}$ — энтальпия соответственно приточного и уходящего воздуха, кДж; $t_{пр}$ и $t_{у}$ — температура приточного и уходящего воздуха, °С; c — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К).

Энтальпию воздуха находят по $I-d$ -диаграмме (см. рис. I.1) согласно показаниям сухого термометра и относительной влажности воздуха.

Суммарное количество выделяемой в помещении влаги, кг/ч, определяемое на основании баланса, составляет

$$D = \sum_{1}^{m} G_{у} d_{у} - \sum_{1}^{n} G_{пр} d_{пр}, \qquad (I.12)$$

где $d_{у}$ и $d_{пр}$ — влагосодержание уходящего и приточного воздуха, г/кг, определяемого по I—d-диаграмме.

Общее количество газа, выделяющегося в помещении в процессе производства, составляет:

$$K = \sum_{1}^{m} L_{у} K_{у} - \sum_{1}^{n} L_{пр} K_{пр}, \qquad (I.13)$$

где $K_{у}$ и $K_{пр}$ — концентрация газа в уходящем и приточном воздухе, г/м³; $L_{у}$ и $L_{пр}$ — объемы уходящего и приточного воздуха, м³/ч.

В тех случаях, когда в производственном помещении технологический процесс имеет непрерывный характер и количество вредных выделений не меняется во времени, инструментальные испытания для составления баланса проводят, как правило, в течение одной смены. При составлении баланса по теплу и влаге производят четыре-пять циклов инструментальных замеров (продолжительность одного цикла 1 — 1,5 ч), при составлении баланса по газу — два-три цикла (продолжительность одного цикла 2 — 3 ч).

Если же технологический процесс характеризуется переменным режимом вредных выделений, то число циклов и их продолжительность определяются в зависимости от местных условий при максимальных количествах вредных выделений. Испытания в этих случаях проводятся не менее 2 раз в различные дни. Если же по результатам двух испытаний, проведенных в условиях одинакового технологического режима, расхождение в количествах выделяемых производственных вредных веществ превышает 15 %, то проводят дополнительные испытания для проверки и уточнения полученных данных.

Если общее измеренное количество уходящего воздуха превышает замеренное количество поступающего в помещение воздуха, то температуру и влажность невязки принимают равными температуре и влажности наружного воздуха. В случае когда замеренное количество поступающего воздуха превышает замеренное количество уходящего воздуха, то невязку принимают со средними значениями газовой концентрации, температуры и влажности в тех проемах, через которые из обследуемого помещения удаляется основная масса воздуха.

При расчете количества вредных выделений используют аналитические формулы или полученные экспериментальным путем расчетные графики.

При аналитическом расчете тепловыделений обычно исходят из предположения, что окружающие предметы и ограждения находятся в тепловом равновесии. Это значит, что количество теплоты, получаемой ими в единицу времени, равно количеству теряемой теплоты при сохранении измененной температуры.

Тепловой баланс, кДж/ч, производственного помещения можно представить в следующем виде:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \pm Q_4 - Q_5, \qquad (I.14)$$

где Q_1 — теплота, выделяющаяся при работе технологического оборудования; Q_2 — теплота от солнечной радиации или от искусственного освещения; Q_3 — теплота, выделяемая людьми; Q_4 — теплопоступления или теплопотери через ограждающие конструкции; Q_5 — расход теплоты на нагревание въезжающего транспорта или ввозимых материалов.

Для подсчета тепловыделений, кДж/ч, от электродвигателей и механического оборудования используют формулу

$$Q_1 = N_y 3600 \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4, \qquad (I.15)$$

где N_y — установочная мощность электродвигателей, кВт; η_1 — коэффициент использования установочной мощности (обычно составляет 0,7—0,9); η_2 — коэффициент загрузки, учитывающей разницу между средним во времени потреблени-

ем мощности и максимально необходимым (обычно принимает равным 0,5—0,8); η_3 — коэффициент одновременности работы электродвигателей (обычно принимают равным 0,5—1,0); η_4 — коэффициент ассимиляции теплоты воздухом, учитывающий часть энергии, переходящей в воздухе в виде теплоты, обычно принимают равным 0,1—1,0 (для текстильных фабрик $\eta_4=1,0$ для насосных станций $\eta_4=0,1$).

Теплота, кДж/ч, от нагретых поверхностей:

$$Q_1=\alpha(t_п-t_в)F, \qquad (I.16)$$

где α — коэффициент теплообмена на наружной поверхности оборудования, кДж/(м²·ч·°С); $t_п$ — температура нагретой поверхности, °С, согласно санитарным нормам не превышающая 45 °С; $t_в$ — температура окружающего воздуха, °С; F — площадь нагретой поверхности, м².

Теплопоступления, кДж/ч, с паром, прорывающимся через неплотности оборудования:

$$Q_1=G_п(r_п+C_пt_п), \qquad (I.17)$$

где $G_п$ — масса прорывающегося пара, кг/ч; $r_п$ — скрытая теплота парообразования, равная 2500 кДж/кг; $C_п$ — теплоемкость водяного пара, равная 1,8 кДж/(кг·°С); $t_п$ — температура пара, °С.

Теплопоступление от солнечной радиации определяется по методике, изложенной в СНиП II-33-75 *.

Теплопоступление, кДж/ч, от искусственного освещения:

$$Q_2=N3600K, \qquad (I.18)$$

где N — суммарная мощность светильников, кВт; K — коэффициент теплоперехода (для подвешенных светильников $K=1,0$, для встроенных светильников с частичным отводом тепла на чердак $K=0,4\div0,6$).

Теплота, выделяемая людьми, зависит от степени тяжести выполняемой ими работы и от температуры окружающего воздуха. Обычно тепловыделения от людей Q_3 определяют по специальным экспериментальным таблицам или графикам.

Теплопоступления или теплопотери через ограждающие конструкции Q_4 учитывают в том случае, когда разность между средней температурой в помещении и температурой наружного воздуха или воздуха соседних помещений превышает 10 °С. Количество теплоты, кДж/ч, определяют по формуле

$$Q_4=KF(t_в-t_н), \qquad (I.19)$$

где K — коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м²·°С); F — площадь ограждения, м²; $t_в$ — температура воздуха помещения, °С; $t_н$ — температура наружного воздуха, °С.

Расход теплоты, кДж/ч, на нагревание въезжающего транспорта или ввозимых материалов находят по формуле

$$Q_5=Gcb(t_в-t_м), \qquad (I.20)$$

где G — масса поступающего материала и транспорта в 1 ч, кг; c — удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°С); b — коэффициент, учитывающий интенсивность поглощения теплоты и зависящий от размеров, формы и теплофизических свойств материала и транспорта (обычно коэффициент b определяют по опытным данным: для изделий, несыпучих материалов и транспорта в первый час пребывания в цехе $b=0,5$, во второй час $b=0,3$ и в третий $b=0,2$; для сыпу-

чих материалов в первый час пребывания в цехе $b=0{,}4$, во второй час $b=0{,}25$, в третий $b=0{,}15$, в четвертый $b=0{,}1$ и в пятый $b=0{,}05$); $t_в$ — температура воздуха помещения °С; $t_м$ — температура поступающего материала, °С.

При расчете влаговыделений, кг/ч, с поверхности открытых резервуаров пользуются формулой Дальтона:

$$W=(p_{нас}-p_в)F(d+0{,}0174v)7{,}5\cdot10^{-3}, \qquad (I.21)$$

где $p_{нас}$ — парциальное давление водяных паров на поверхности жидкости, Па; $p_в$ — парциальное давление водяных паров в воздухе помещений, Па; F — площадь поверхности испарения, м²; d — фактор гравитационной подвижности, зависящий от температуры воды; v — скорость движения воздуха над зеркалом испарения, м/с.

Фактор гравитационной подвижности d зависит от температуры воды $t_в$ следующим образом:

$t_в$, °С	до 30	40	50	60	70	80	90	100
d	0,022	0,028	0,033	0,037	0,041	0,046	0,051	0,06

При испарении с поверхности мокрых полов, на которых влага находится длительное время, температура поверхности водяной пленки будет равна температуре мокрого термометра окружающего воздуха. Испарение воды в этом случае будет происходить за счет теплоты воздуха, а количество испарившейся воды, кг/ч, составит:

$$W=\frac{\alpha(t_с-t_м)F}{r}, \qquad (I.22)$$

где α — коэффициент теплообмена, равный 15 кДж/(м²·ч·°С); $t_с$ — температура воздуха по сухому термометру, °С; $t_м$ — температура воздуха по мокрому термометру, °С; F — площадь смоченного пола м²; r — скрытая теплота парообразования, равная 2500 кДж/кг.

Следует отметить, что для кипящей жидкости подсчет по приведенным выше формулам дает неверный результат. По данным В. В. Батурина, при кипении с 1 м² поверхности испаряется 40—50 кг/ч воды. Это объясняется тем, что площадь поверхности значительно больше площади спокойного зеркала воды, так как внутри массы воды образуются пузырьки пара.

В механических цехах при охлаждении резцов эмульсией влаговыделения, кг/ч, принято считать по формуле

$$w=0{,}15N, \qquad (I.23)$$

где N — мощность металлорежущих станков, кВт.

При расчете влаговыделений от людей учитывают температуру окружающего воздуха и степень тяжести выполняемой ими работы (табл. I.6).

При расчете количества выделяющихся вредных паров и газов, кг/ч, через неплотности аппаратуры и трубопроводов можно пользоваться приближенной формулой

$$W_т=KCV\sqrt{M/T}, \qquad (I.24)$$

где K — коэффициент запаса, принимаемый равным 1—2 в зависимости от токсичности газа и состояния аппаратуры; C — коэффициент, зависящий от давле-

Таблица 1.6

Температура воздуха, °С	Выделение влаги, г/ч, при работе		
	легкой	средней тяжести	тяжелой
15	55	110	185
20	75	140	240
25	115	185	295
30	150	230	355

ния газов: до $2 \cdot 10^5$ Па — 0,12; при $(2—7) \cdot 10^5$ Па — 0,18; при $(7—17) \cdot 10^5$ Па — 0,2; при $(17—40) \cdot 10^5$ Па — 0,25; при $(40—160) \cdot 10^5$ Па — 0,3; V — внутренний объем аппаратуры и коммуникаций, м³; M — молекулярная масса газа или пара; T — абсолютная температура.

Согласно опытным данным, количество вредных газов, кг/ч, выделяющихся через сальники насосов, составляет:

$$W_c = 25d\sqrt{p}, \qquad (I.25)$$

где d — диаметр вала и штока, мм; p — давление, развиваемое насосом, Па.

При определении количества окиси углерода, выделяющегося в помещении цеха или склада, где работают автопогрузчики или иные машины, можно использовать полученную опытным путем формулу

$$W_м = nqNK \ \text{(г/ч)}, \qquad (I.26)$$

где n — максимальное число автомобилей, работающих в течение 1ч; q — удельные газовыделения, г/кВт, принимаемые по табл. 1.7; N — мощность двигателя, кВт; K — коэффициент учета интенсивности движения автомашин (для склада хранения автомобилей $K=1$, для поста технического обслуживания $K=0,5$, при $n=1$ $K=0,5$, при $n=2$ $K=0,6$, при $n=3$ $K=0,7$, при $n=4$ $K=0,8$ при $n>4$ $K=1,0$).

При окраске основными выделяющимися вредными веществами являются летучие составляющих красок и лаков, пары растворителей.

Таблица 1.7

Помещения	Удельные газовыделения, г/кВт					
	Легковыми автомобилями		Грузовыми автомобилями и автобусами			
			с карбюраторными двигателями		с дизельными двигателями	
	окись углерода	окислы азота в пересчете на NO_2	окись углерода	окислы азота в пересчете на NO_2	окись углерода	окислы азота в пересчете на NO_2
Для хранения автомобилей	1,63	0,027	2,32	0,041	0,68	0,27
Для технического обслуживания автомобилей	1,09	0,022	1,36	0,033	0,54	0,22

Количество вредных выделений, поступающих в воздух при окраске методом ручного распыления без учета удаления вредных веществ через местные отсосы, может быть принято по табл. 1.8.

Таблица 1.8

Метод распыления	Расход краски, кг/ч	Количество паров основного растворителя	
		% расхода	кг/ч
Пневматический	36	25	9
Безвоздушный	48	23	11,4
Гидроэлектростатический	48	25	12
Пневмоэлектростатический	18	20	3,6
Электростатический	6	50	3

Примечание. При другом расходе приведенные данные пропорционально пересчитываются.

В помещениях кузнечных, прессовых, термических и других горячих цехах выделяется не только значительное количество теплоты, но и продукты горения, содержащие окись углерода, сернистый газ, дым, акролеин и т. д. В кузницах при работе на современных паровоздушных штамповочных и ковочных молотах, на горизонтально-ковочных машинах и другом оборудовании для нагрева металла обычно используют мазут или газ. В термических цехах на заводах тяжелого машиностроения кроме печей с электрическим подогревом применяют печи на жидком, газообразном или твердом топливе. Несмотря на то что продукты сгорания отводятся дымовой трубой, часть этих продуктов из загрузочных и разгрузочных отверстий через неплотности отводящих боровов и труб выбивается в цех. Многочисленные исследования воздушной среды в горячих цехах показывают, что основными вредными выделениями в них являются теплоизбытки. Но в холодное время года в этих цехах иногда наблюдаются повышенные концентрации окиси углерода и сернистого газа. Это объясняется уменьшением естественных воздухообменов вследствие закрывания ворот и оконных створок. Количество вредных примесей, поступающих в воздух помещения при сжигании 1 кг топлива, можно ориентировочно принимать по табл. 1.9.

По своему составу вредные выделения в сварочных цехах зависят, как правило, от вида применяемого электрода и свариваемого металла. Сварка электрической дугой сопровождается выделением в воздухе тепла, пыли и газов. При сварке голыми электродами с меловой обмазкой пыль представляет собой чистую окись железа, при сварке качественными электродами пыль помимо окиси железа содержит окиси марганца, углерода, хрома, никеля, фтористые соединения и др. Например, состав сухих компонентов, входящих в обмазку электродов марки ОММ-5, включает в себя: мар-

Таблица I.9

Оборудование	Количество вредных примесей, поступающих в помещение, г/кг	
	CO	SO_2
Нагревательные печи термического отделения на заводах тяжелого машиностроения при работе:		
на природном газе	3,8	—
на мазуте	4,8	3,1
Нагревательные печи термического отделения на автотракторных и инструментальных заводах при работе:		
на природном газе	24	—
на мазуте	12	6
Печи отжига сварочного отделения при работе:		
на природном газе	8,5	—
на мазуте	7,8	5
Нагревательные печи прессового отделения при работе:		
на природном газе	3	—
на мазуте	3	2,2

ганцевую руду (21 %), титановый концентрат (37 %), ферромарганец (20 %), полевой шпат (13 %) и крахмал (9 %). Следует отметить, что электросварочная пыль отличается высокой дисперсностью, 95—99 % всех пылевых частиц имеет размер менее 2 мкм. По данным гигиенистов, наиболее вредное воздействие на организм человека оказывает окись марганца MnO_2. В табл. I.10 приведены данные В. Л. Писаренко и М. Л. Рогинского о количестве вредных выделений, приходящихся на 1 кг сжигаемых электродов.

По данным ВЦНИИОТ, количество пыли, выделяющейся при сварке, зависит не только от марки электрода, но и от его диа-

Таблица I.10

Марка электрода	Количество вредных выделений, г/кг		
	сварочная пыль	окислы марганца	фтор
ОММ-5	9	1,65	—
ЦМ-6	48,7	4,3	
СМ-5	11,4	2,18	—
К5А	24,1	1,1	4,95
УОНИ-13	18,6	0,9	3,5
АНО-11	22,4	0,8	3,5
АНО-15	19,5	1,0	2,7
АНО-9	16	0,9	1,6

метра, силы тока и конфигурации свариваемых изделий. Для ориентировочных расчетов можно принимать, что при сгорании одного электрода диаметром 4 мм выделяется 0,5 г сварочной пыли, диаметром 5 мм — 1 г пыли, диаметром 6 мм — 1,5 г пыли.

1.5. Способы организации воздухообмена

Под организацией воздухообмена понимают взаимное расположение в помещении мест подачи и удаления вентиляционного воздуха в зависимости от расположения источников вредных выделений и рабочих мест. Выбору схемы организации воздухообмена уделяется большое внимание при проектировании вытяжных и воздухораспределительных устройств (рис. 1.3).

Неудачно принятая принципиальная схема вентиляции может привести к созданию в помещении застойных, невентилируемых зон, в которых образуется повышенная концентрация вредных примесей или возникает повышенная температура. Опыт показывает, что из-за неправильной организации воздухообмена часто не удается обеспечить в воздухе рабочей зоны помещения требуемых параметров.

Выбор способа организации воздухообмена определяется многими факторами: назначением и строительными особенностями помещения, количеством, расположением и режимом работы технологического оборудования, характером и интенсивностью вредных выделений, расположением рабочих мест, экономическими и эксплуатационными соображениями. Способ организации воздухообмена влияет на величину воздухообмена, на конструкцию применяемых вытяжных и приточных устройств.

Большое значение на выбор схемы вентиляции оказывает характер естественного распространения вредных примесей в воздухе и расположение рабочих мест в помещении. Естественное распространение в воздухе вредных примесей всегда приводит к созданию относительно чистых и загрязненных зон. Наибольшую роль в этом играют конвективные потоки, вызывающие вертикальные и горизонтальные перемещения воздушных масс. Конвективные потоки поднимают вверх выделяющиеся газы и пары, независимо от удельного веса, а также мелкую пыль. Таким образом, при наличии в помещении мощных тепловых источников большая часть вредных примесей выносится вертикальными струями в верхнюю зону цеха, а затем возвратными струями разносится по всему цеху.

При проектировании вентиляции необходимо учитывать естественное распространение вредных примесей в помещении и стараться организовать подачу приточного воздуха в относительно чистую зону, а вытяжку осуществлять из наиболее загрязненной зоны помещения. Кроме того, при проектировании приточной вентиляции обязательно нужно учитывать расположение рабочих мест и предусматривать вблизи них раздачу воздуха.

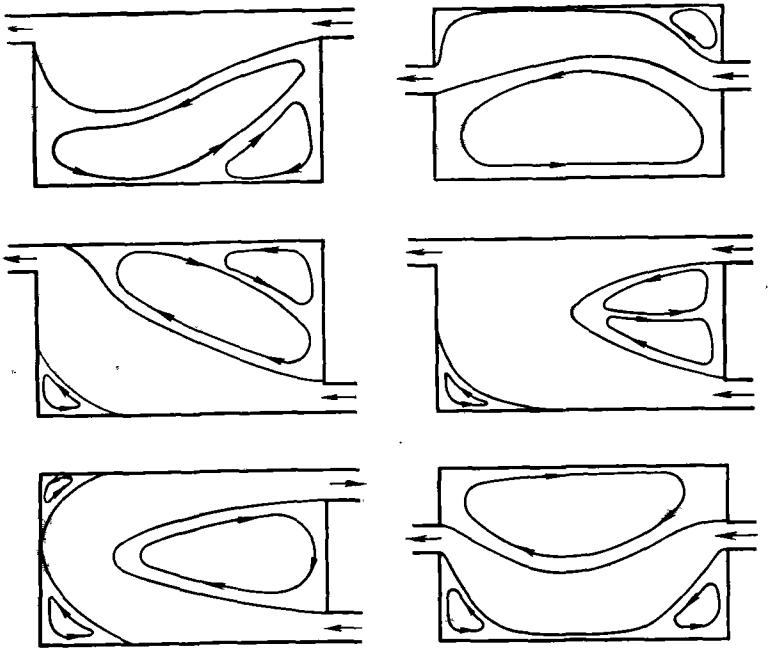


Рис. I.3. Возможные схемы организации воздухообмена в помещении

В зависимости от характера распространения вредных выделений и наличия теплоизбытков при вентиляции помещения могут быть приняты следующие схемы организации воздухообмена: 1) снизу — вверх; 2) сверху — вниз; 3) сверху — вверх; 4) смешанная.

При наличии мощных тепловых потоков зоной наибольшей концентрации вредных примесей является, как правило, верхняя часть помещения. Если загрязненные конвективные потоки удалить из верхней зоны, то дальнейшее растекание вредных примесей в воздухе помещения можно предотвратить. Поэтому совершенно закономерно при наличии конвективных потоков принимать схему вентиляции по принципу «снизу — вверх», т. е. с подачей приточного воздуха в рабочую зону и вытяжкой из верхней зоны помещения.

При наличии значительных тепловыделений в помещении и возможности использования приточного наружного воздуха без предварительной обработки (очистка, подогрев, увлажнение и т. п.) вентиляция помещения по схеме «снизу — вверх» наиболее экономично может быть решена с помощью организованного естественного воздухообмена — аэрации. Иногда для обеспечения равномерной раздачи приточного воздуха по всей площади рабочей зоны может применяться совместная естественная и механическая вентиляция: механическая подача приточного воздуха в рабочую зону и естественная вытяжка из верхней зоны.

Способ вентиляции по схеме «снизу—вверх» является наиболее экономичным и совершенным в гигиеническом отношении для помещений с тепловлагоизбытками.

Для подачи приточного воздуха в рабочую зону без нарушения санитарно-гигиенических требований в отношении подвижности воздуха необходимо использовать пристенные или напольные воздухораспределители с большой эжекционной способностью (перфорированные пристенные панели, вихревые воздухораздающие напольные трубы и т. д.).

При полном отсутствии в цехе конвективных потоков тяжелые газы, пары и пыль концентрируются в нижней части помещения. В этом случае вытяжные вентиляционные отверстия следует располагать у самого пола, а приточный воздух подавать в верхнюю зону, т. е. вентилировать помещение по схеме «сверху — вниз». При устройстве вентиляции по этой схеме в качестве воздухораспределителей применяют перфорированные потолочные панели и воздуховоды, а также другие устройства с раздачей приточного воздуха рассеянными струями. Воздух из помещения удаляется через вытяжные решетки в полу или через местные отсосы, установленные в рабочей зоне.

Активная подача воздуха сверху вниз позволяет более эффективно вентилировать рабочую зону, так как приточный воздух достигает зоны дыхания с меньшими теплоэнергетическими потерями, однако в этом случае появляется опасность превышения допустимой скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Коэффициент эффективности использования приточного воздуха при рассредоточенной подаче приточного воздуха сверху вниз обычно всегда бывает менее единицы.

Схема «сверху — вверх» предусматривает подачу и удаление воздуха в верхней зоне. Эту схему, так же как и предыдущую, целесообразно применять в том случае, когда приточный воздух подается в помещение с теплоизбытками и с температурой значительно ниже температуры помещения. Опускаясь по всей высоте помещения, холодный приточный воздух ассимилирует теплоту и поступает в рабочую зону нагретым. Смешение приточного и внутреннего воздуха создает в рабочей зоне слабые вторичные токи, благоприятные для самочувствия работающих.

Вентиляция помещения по схеме «сверху — вверх» широко используется при проектировании объектов спортивного и культурно-бытового назначения (зрительные залы, крытые стадионы, бассейны и др.).

При наличии в помещении избыточной теплоты подача и удаление воздуха в верхней зоне являются экономически невыгодным по сравнению с подачей и удалением воздуха по схеме «снизу—вверх». Особенно показательно это для летнего периода, когда температура приточного воздуха равна наружной.

Смешанная схема вентиляции применяется в помещениях с теплоизбытками при наличии выделяющихся вредных паров и га-

зов тяжелее воздуха или при необходимости использования местных вентиляционных отсосов и укрытий.

Бывают случаи, когда тепловыделения в производственном помещении имеются, но мощность их недостаточна для создания конвективных потоков, способных поднять загрязненный воздух на всю высоту помещения, и зона наибольшей концентрации вредных выделений располагается в каком-то промежуточном сечении по высоте цеха. Примером этого может служить общеобменная вентиляция больших сварочных цехов, где, как правило, приточный воздух с малыми скоростями движения подается в рабочую зону, а удаление воздуха осуществляется местными отсосами и общеобменной вытяжкой, расположенной на высоте наибольшей концентрации сварочной пыли.

Большое распространение в промышленной вентиляции получили сосредоточенные способы раздачи приточного воздуха. Особо следует остановиться на сосредоточенной подаче приточного воздуха горизонтальными струями, затухающими вне рабочей зоны. При такой подаче в рабочую зону приточный воздух поступает с обратным током, в значительной мере насыщенный вредными выделениями.

Сосредоточенную подачу целесообразно осуществлять только в тех производственных помещениях, где создаваемая при этом циркуляция воздуха не будет приводить к увеличению концентрации вредных примесей в рабочей зоне в результате перетекания их из верхней зоны. При сосредоточенном способе раздачи приточного воздуха и вытяжке из верхней зоны снижается степень использования приточного воздуха и коэффициент K может оказаться меньше единицы.

Сосредоточенная подача рекомендуется при воздушном отоплении, а также при вентиляции производственных помещений со значительными влаговыделителями. При сосредоточенной подаче воздуха значительно уменьшаются протяженность воздуховодов и число самих вентиляционных систем, а также затраты на монтаж и эксплуатацию вентиляции.

В ряде случаев при устройстве вентиляции и кондиционирования воздуха в качестве приточного воздуха используется не только наружный, но и рециркуляционный, т. е. повторно используемый вытяжной воздух. При рециркуляции не допускается предусматривать специальные проемы или решетки для естественного перетекания воздуха между помещениями и должен быть обеспечен баланс воздуха по организационному притоку и вытяжке в помещениях, взаимосвязанных вентиляционными системами.

При общеобменной вентиляции уравнение воздушного баланса имеет вид

$$\sum_{1}^{m} G_{\text{пр}} \sum_{1}^{n} G_{\text{у}} = 0. \qquad (I.27)$$

При общеобменной и местной вытяжной и приточной вентиляции уравнение воздушного баланса можно представить в следующем виде:

$$\sum_{1}^{m} G_{\text{пр}} + \sum_{1}^{i} G_{\text{м. пр}} = \sum_{1}^{n} G_{\text{у}} + \sum_{1}^{j} G_{\text{м. у}}, \qquad (I.28)$$

где $\sum_{1}^{m} G_{\text{пр}}$ и $\sum_{1}^{n} G_{\text{у}}$ — суммарное количество приточного и вытяжного воздуха, перемещаемого общеобменной вентиляцией; $\sum_{1}^{i} G_{\text{м. пр}}$ и $\sum_{1}^{j} G_{\text{м. у}}$ — суммарное количество воздуха, перемещаемого местными приточными и вытяжными системами вентиляции.

Если баланс воздуха не уравновешен, то недостающее количество вытяжного и приточного воздуха уходит из помещения или поступает в него через проемы и неплотности в наружных ограждениях. Неорганизованный приток или вытяжка часто могут привести к нарушению санитарно-гигиенического состояния воздушной среды этого или смежного помещения.

I.6. Общеобменная вентиляция и ее расчет

Общеобменная вентиляция применяется при всех видах вредных выделений, за исключением пыли. Лишь крайне редко, при рассеянном и незначительном пылевыделении, общеобменная вентиляция может использоваться для борьбы с пылью (типографии, картонажные фабрики, складские помещения и т. д.). В этих случаях механическую вытяжку предусматривают из наиболее запыленных зон помещения.

При общеобменной вентиляции происходит разбавление свежим воздухом вредных примесей во всем объеме помещения. Поступивший свежий воздух ассимилирует выделяющиеся в помещении теплоизбытки, вредные газы и пары, насыщается ими, а затем выбрасывается наружу вытяжной вентиляцией. При общеобменной вентиляции количество вентиляционного воздуха рассчитывается из условия разбавления тепловых и газовых выделений до допустимых в рабочей зоне температур и концентраций.

При одновременном выделении газов и паров, теплоты и влаги общеобменная вентиляция является единственным приемлемым решением, так как местные отсосы часто бывает невозможно применить по условиям технологии.

Для расчета общеобменной вентиляции необходимо знать количество теплоизбытков или вредных примесей, поступающих в воздух помещения в единицу времени. Количество теплоизбытков или вредных примесей определяют на основании аналитических расчетов или готовых проверенных опытных данных или находят непосредственно в натуре путем составления воздушно-теплового или воздушно-газового баланса.

При составлении балансов измеряют количество воздуха, поступающего и уходящего из помещения в единицу времени, замеряют температуру, влажность и содержание в приточном и вытяжном воздухе вредных примесей. Такие измерения необходимо производить только при стационарном режиме работы технологического оборудования.

Подсчитав количество вредных выделений в помещении в единицу времени, можно рассчитать необходимое количество, кг/ч, вентиляционного воздуха:

при явных теплоизбытках

$$G = Q_{изб}/[C(t_у - t_{пр})]; \quad (I.29)$$

при газовыделениях

$$L = K_г/(K_у - K_{пр}), \quad (I.30)$$

где $Q_{изб}$ и $K_п$ — соответственно теплоизбытки, кДж/ч, и валовые газовыделения, кг/ч, в помещении; C — теплоемкость воздуха, кДж(кг·К); $t_{пр}$, $t_у$ — температура приточного и вытяжного воздуха, °С; $K_{пр}$, $K_у$ — концентрации газовых примесей в приточном и вытяжном воздухе, г/м³.

Необходимый воздухообмен, кг/ч, при схеме вентиляции «снизу—вверх» с учетом температурного градиента по высоте определяют по формуле

$$G = Q_{изб}m/[C(t_{р.з} - t_{пр})], \quad (I.31)$$

где $t_{р.з}$ — нормируемая температура воздуха в рабочей зоне; m — температурный коэффициент, рассчитываемый по формуле

$$m = (t_{р.з} - t_{пр})/(t_у - t_{пр}). \quad (I.32)$$

Для оценки эффективности использования приточного воздуха в вентиляции иногда применяют коэффициент K, обратный по величине коэффициенту m:

$$K = (t_у - t_{пр})/(t_{р.з} - t_{пр}). \quad (I.33)$$

Очевидно, чем больше коэффициент K, тем более полно используется приточный воздух в помещении. При вентиляции по схеме «снизу — вверх» коэффициент K больше единицы и, как правило, составляет 1,5—2,0.

При одновременном выделении в помещении нескольких вредных веществ однонаправленного действия расчет наружного воздухообмена производят путем суммирования необходимых воздухообменов для разбавления каждого вещества в отдельности до его предельно допустимой концентрации.

При общеобменной вентиляции наиболее сложными являются вопросы организации воздухообмена. В горячих производственных цехах с большой высотой помещения довольно эффективно осуществляется естественный воздухообмен, позволяющий без затрат механической энергии перемещать большие объемы воздуха. Естественные воздухообмены широко используются также при вентиляции жилых зданий.

Вместе с тем все более широкое распространение в современном строительстве находят крупные многопролетные блокирован-

ные корпуса, в которых под одной кровлей осуществляется комплекс различных технологических процессов, связанных с производством химических материалов, с изготовлением и ремонтом автомашин, тракторов, вагонов, станков и другого оборудования. В таких корпусах, размеры которых в плане составляют сотни, а иногда и тысячи метров, резко уменьшаются возможности использования аэрации и в связи с этим появляется необходимость подачи и удаления механическим путем огромных масс воздуха, измеряемых зачастую миллионами кубических метров в час. Необходимость подачи больших количеств воздуха системами приточной вентиляции, выполняющими, как правило, и функции воздушного отопления, ставит весьма остро проблему рационального распределения и эффективного использования приточного воздуха в этих корпусах.

В многоэтажных корпусах предприятий приборостроительной, радиотехнической, электронной и других отраслей промышленности, производственные помещения которых имеют сравнительно небольшую высоту, необходимо при значительных удельных воздушных нагрузках обеспечить строгое поддержание заданных параметров воздушной среды по всей площади рабочей зоны. Несоблюдение этого требования наряду с ухудшением санитарно-гигиенических показателей часто приводит к ухудшению качества выпускаемой продукции.

I.7. Местная вентиляция

Местная или локальная вентиляция обеспечивает поддержание нормальных санитарно-гигиенических условий воздушной среды непосредственно на рабочих местах производственных помещений, где создать требуемые параметры воздуха с помощью общеобменной вентиляции не представляется возможным. Местная вентиляция является наиболее эффективным и экономичным способом борьбы с высокой температурой и вредными концентрациями газов, паров и пыли в воздухе.

Местная вентиляция бывает вытяжная и приточная. Вытяжная местная вентиляция применяется для улавливания и удаления избыточной теплоты и вредных примесей непосредственно у источника их образования. Местная приточная вентиляция служит для понижения температуры воздуха на рабочих местах, характеризуемых значительным конвективным или лучистым тепловыделением. Основными видами местных вытяжных устройств являются: вытяжные зонты, панели, шкафы, различного вида колпаки, местные отсосы и укрытия у рабочих столов и технологического оборудования. Местная приточная вентиляция устраивается в виде воздушных душей.

Улавливание вредных выделений вблизи места их образования позволяет удалять их с температурами или концентрациями, значительно большими, чем при общеобменной вентиляции, вследст-

вие чего сокращаются воздухообмен, а также строительные и эксплуатационные расходы.

При устройстве местных отсосов обычно стремятся как можно полнее укрыть источник вредных выделений или как можно ближе расположить к нему отсос. Приемное отверстие местного отсоса стараются ориентировать по линии распространения вредных выделений, так как благодаря этому достигается наибольший эффект при наименьшем расходе воздуха.

Одним из наиболее распространенных местных отсосов является вытяжной зонт. Вытяжные зонты располагают над источником вредных выделений, когда выделение последних сопровождается устойчивой конвективной струей или когда они значительно легче воздуха и под влиянием гравитационных сил поднимаются вверх.

Располагать зонт над источником в большинстве случаев приходится на высоте около 2,0 м от пола. В связи с этим между источником и всасывающим отверстием зонта может образоваться большой разрыв. Чем больше этот разрыв, тем больше окружающего воздуха захватывает поднимающаяся конвективная струя и тем больше объем удаляемого воздуха. Кроме того, скорость поднимающейся струи быстро затухает и неорганизованные горизонтальные токи воздуха в помещении отклоняют вредные газы и пары от зонта.

При механической вытяжке скорость всасывания уменьшается примерно обратно пропорционально квадрату расстояния от всасывающего отверстия. Поэтому когда источник вредных выделений не обладает достаточными гравитационными силами, применять зонты не рекомендуется.

При удалении вредных газовых примесей с больших открытых поверхностей промышленных ванн вследствие быстрого затухания скорости воздуха у всасывающих отверстий бортовых отсосов перекрыть всасывающим факелом зеркало значительной ширины не удается. Поэтому для одностороннего бортового отсоса предельной шириной зеркала считается 0,7 м, для двустороннего — 1,2 м.

По технологии производства в большинстве случаев требуется наличие открытых поверхностей промышленных ванн. Прорыв вредных выделений при работе отсоса происходит в том месте, где под влиянием таких факторов, как диффузия, конвективные потоки от нагретой поверхности, внутренние токи воздуха в помещении, движение рук человека и элементов оборудования и т. п., скорость всасывания бортового отсоса будет недостаточной.

Для повышения эффективности работы местных отсосов и уменьшения неблагоприятного влияния указанных факторов местные отсосы иногда активируются направленными струями, которые эжектируют окружающий воздух вместе с выделяющимися вредными примесями и перемещают его к всасывающему отверстию.

Наиболее экономичными и эффективными местными отсосами являются вытяжные шкафы. Образующиеся внутри шкафа вредные выделения вместе с воздухом удаляются из него за пределы помещения естественным или механическим путем. Благодаря разре-

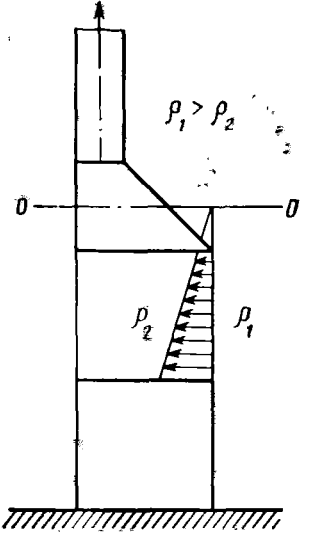


Рис. I.4. Распределение скорости всасывания в открытом проеме вытяжного шкафа

жению, возникающему внутри шкафа, воздух из помещения перетекает в него через рабочий проем, который служит как бы завесой, препятствующей проникновению вредных выделений из шкафа в помещение.

Вытяжные шкафы рекомендуются к применению во всех случаях, когда их использование не мешает проведению технологического процесса. В зависимости от размера рабочего проема вытяжного шкафа определяются скорость всасывания и объем удаляемого воздуха.

Распределение скорости всасывания в открытом отверстии шкафа показано на рис. I.4. Для исключения выбивания загрязненного воздуха из шкафа необходимо, чтобы скорость подсоса у верхней кромки отверстия была несколько больше скорости, вызываемой гравитационными силами.

При механической вытяжке объем вытяжного воздуха, м³/с, определяют по формуле

$$L = Fv, \tag{I.34}$$

где v — скорость в рабочем сечении шкафа, м/с; F — площадь отверстия, м².

Если в шкафу не происходит выделения теплоты и плотность выделяющихся газов не отличается от плотности воздуха помещения, то для предотвращения выбивания этих газов из шкафа достаточно обеспечить самые минимальные скорости всасывания в проеме шкафа при условии, что окружающий воздух неподвижен. Так как окружающий воздух подвижен, то приходится принимать скорость в рабочем проеме не менее 0,25—0,35 м/с.

При отсосе из верхней части вытяжного шкафа в рабочем отверстии наблюдаются неравные скорости воздуха по высоте, при этом наибольшие скорости отмечаются вверху отверстия. Наличие в шкафу тепловыделений способствует некоторому выравниванию

скоростей в отверстии. При отсосе из нижней части шкафа наибольшие скорости наблюдаются в нижней части отверстия. Нижний отсос применяют в тех случаях, когда выделяются тяжелые газы.

При изотермических условиях равномерные скорости в рабочем сечении шкафа могут быть достигнуты при одновременном отсосе внизу и вверху шкафа.

В химических шкафах, где выделяются как легкие, так и тяжелые газы и реакции могут сопровождаться выделением тепла, отсос обычно предусматривают вверху и внизу шкафа.

При проектировании укрытий, внутри которых должно происходить перемешивание сыпучих или кусковых материалов (дробление, размол, просеивание и транспортирование), необходимо учитывать возникновение зон пониженного и повышенного давления. Так, при загрузке сыпучий материал увлекает за собой воздух и создает зону пониженного статического давления. Наоборот, при выгрузке при падении сыпучего материала освобождающийся воздух создает повышенное статическое давление, стремится вытечь через отверстия и неплотности, увлекая за собой пыль. Аналогичное явление образования зон пониженного и повышенного давления создается, когда в укрытии происходит вращение или возвратно-поступательное движение инструмента или частей оборудования.

Отсос воздуха нужно устраивать из мест повышенного давления. У вращающихся абразивных кругов шлифовальных, полировальных, заточных и других станков воздух в кожух укрытия подтекает по оси диска. Затем воздух под влиянием центробежной силы радиально растекается и срывается с поверхности вращающегося диска, у кромки которого и следует располагать местный отсос.

Загрязненность воздуха производственного помещения, оборудованного местной вытяжкой вентиляцией, зависит от количества прорывающихся вредных выделений в помещение, т. е. от совершенства местного отсоса или укрытия. Чтобы содержание вредных веществ в воздухе такого помещения не превышало предельно допустимых концентраций, необходимо свести к минимуму возможность прорыва в помещение вредных веществ в зоне действия местных отсосов.

При устройстве местной приточной вентиляции стремятся в определенном, не ограниченном стенками пространстве производственного помещения обеспечить поддержание требуемых параметров воздушной среды, отличных от параметров воздуха во всем остальном помещений. К местной приточной вентиляции чаще всего прибегают при борьбе с избыточным теплом и реже при борьбе с вредными газами. При избыточных теплопоступлениях на рабочем месте роль местной приточной вентиляции сводится к созданию таких температуры и скорости движения воздуха, которые обеспечивали бы удовлетворительное самочувствие людей. Обычно это решается путем устройства регулируемых боковых или вер-

тикальных воздушных душей, направляющих поток воздуха на рабочее место.

Направление и количество подаваемого воздуха определяют исходя из условий создания на уровне плеч работающего скоростей движения воздуха, обеспечивающих его удовлетворительное самочувствие.

При использовании воздушного душа в качестве местной вентиляции для разбавления концентрации вредных газов и паров необходимо, чтобы душ обеспечивал в воздухе всей рабочей зоны их концентрацию, не превышающую предельно допустимую. При этом необходимо учитывать возможность возникновения повышенной скорости движения воздуха на рабочем месте. Воздушные души применяют в кузнечных, литейных и термических цехах, где рабочие места подвергаются интенсивному тепловому облучению.

Другим примером местной приточной вентиляции могут служить воздушные оазисы, создаваемые в производственных помещениях значительной высоты и с большим избыточным выделением теплоты. Под оазисом в данном случае понимают небольшую площадь производственного помещения с постоянным пребыванием людей, отделенную от остального помещения по всему периметру невысокой перегородкой (2,0—2,2 м) и заполненную более холодным чистым воздухом. Если нельзя сделать ограждение оазиса по всему периметру, то в проемах (проходах) устраивают воздушные завесы, препятствующие вытеканию воздуха из оазиса.

Воздушная завеса, также являясь одним из видов местной приточной вентиляции, выполняет роль шибера, уменьшая прорыв холодного воздуха через проемы, и часто применяется зимой для борьбы с прорывом потоков холодного наружного воздуха в помещение. Воздушные завесы бывают с нижней, верхней и боковой подачей воздуха, односторонними и двусторонними. Завесы с нижней подачей являются наиболее экономичными по расходу воздуха и теплоты. К недостаткам их следует отнести возможность частого засорения приточной щели, а также прямое воздействие нагретой струи на людей, пересекающих воздушную завесу.

ГЛАВА II. ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

II.1. Струйные течения

Как показывают многочисленные исследования, подвижность воздуха в помещении, а также распределение в нем полей температур и концентраций примесей определяются в основном наличием струйных течений. Приточные вентиляционные струи являются затопленными, так как обладают практически теми же физическими свойствами, что и окружающий их воздух в помещении. Различают струи свободные и несвободные, турбулентные и ламинарные, изотермические и неизотермические. Струя называется свободной, если она не стеснена никакими препятствиями, и несвободной —

если в той или иной мере ими ограничена. Полуограниченными, или настилающими, являются струи, развивающиеся вдоль поверхностей ограждений.

Изотермической струя называется в том случае, если она по всему объему имеет одну и ту же температуру. В противном случае струя по мере своего развития нагревается или охлаждается и становится неизотермической. Свободные неизотермические струи, изогнутые гравитационными силами, в вентиляции иногда называют воздушными фонтанами.

В зависимости от режима движения различают ламинарные и турбулентные струи.

В системах вентиляции и кондиционирования воздуха практически всегда наблюдается турбулентный характер движения приточных струй. Одна из важнейших особенностей турбулентных струй состоит в интенсивном перемешивании массы струи с окружающей средой. Процесс перемешивания начинается практически сразу же после выпуска струи из приточного отверстия. Приточный воздушный поток, стремясь сохранить направление и скорость истечения, сначала оказывается изолированным от окружающей среды тонким слоем воздуха, по толщине которого скорость воздушного потока резко изменяется. Можно представить, что под влиянием каких-либо причин на разделяющем слое могут возникнуть небольшие волны, в результате чего поток расширится. При этом в месте расширения потока скорость и динамическое давление уменьшаются, и согласно закону сохранения энергии, возрастает статическое давление. В местах сжатия струи, напротив, скорость и динамическое давление потока увеличиваются, вызывая понижение статического давления. В том и другом случае повышенное давление возникает со стороны вогнутой части поверхности раздела, что способствует увеличению размеров волн.

С возрастанием волн их вершины, выступающие за границы потока, тормозятся окружающим воздухом, а находящиеся в пределах потока основания волн увлекаются вниз по течению. В результате случайно возникшие на поверхности раздела небольшие волны неизбежно увеличиваются в размерах, затем деформируются и скручиваются в вихревые кольца, которые способствуют перемешиванию воздуха струи с окружающим воздухом помещения. Процессу перемешивания в значительной степени способствует взаимодействие вихрей между собой.

Процесс перемешивания определяет все важнейшие свойства струи: вследствие перемешивания прилегающие слои окружающего воздуха вовлекаются в поступательное движение струи, воздух помещения приходит в движение по направлению к струе; количество воздуха в струе от сечения к сечению увеличивается, а скорость движения уменьшается; в поперечном сечении свободной струи устанавливаются характерные профили скоростей, температур и концентраций возможных примесей с максимальным значением на оси и постепенным уменьшением к границам струи. В ре-

зультате масса струи в направлении течения увеличивается, а е поперечные размеры возрастают.

Согласно опытным данным, масса струи увеличивается приме но во столько же раз, во сколько уменьшается средняя скорост струи, т. е. количество движения струи практически можно считат постоянным на всем ее протяжении. Это предположение обычн принимается за основу при выводе расчетных формул.

В струе принято различать два участка: начальный, на проти жении которого еще сохраняется неизменной первоначальная ос вая скорость, и основной участок, сплошь состоящий из погранич ного слоя и имеющий неравномерное поле скоростей.

Равномерность начального скоростного поля влияет на дальн бойность струи, т. е. на расстояние между точками пересечени изогнутой оси неизометрической струи с уровнем приточного от верстия. Опыты показывают, что чем равномернее начальный пр филь, тем дальнобойнее струя. Длина начального участка не пр вышает шести—восьми калибров приточного отверстия и, следо вательно, при расчете вентиляции определяющим является основ ной участок струи. Как показывают опыты, угол турбулентног расширения, или раскрытия, струи на основном участке являетс постоянным для одного и того же вида струй; в зависимости от ти па воздухораспределительного устройства его значение составляе 18—25°.

В вентиляционных расчетах принято использовать круглую осе симметричную, плоскую и веерную приточные струи. Для воз душных завес и ограждений применяются кольцевые, одиночны плоские и сдвоенные плоскопараллельные струи.

В настоящее время имеется много работ, посвященных иссле дованию воздушных струй. Наиболее глубокое исследование этог вопроса проводилось Г. Н. Абрамовичем, И. А. Шепелевым, В. Н Талиевым, М. И. Гримитлиным и др.

II.2. Свободные изотермические и неизотермические струи

Траектория свободной струи в значительной мере определяет ся температурным фактором. Если температура струи равна те пературе окружающего воздуха, то такая струя называется из термической. Изотермические свободные струи имеют прямолине ную траекторию. Расчетная схема изотермической струи, границ которой условно изображены прямыми линиями, приведена н рис. II.1.

Опыты показывают, что при используемых в вентиляции ско ростях движения воздуха статическое давление в свободной тур булентной струе практически постоянно и равно давлению окру жающей среды. Благодаря этому секундное количество движени (импульс) во всех поперечных сечениях струи сохраняется посто янным. При определении зависимостей, описывающих подтверж даемый опытами универсальный профиль скоростей, температур концентраций примеси в пограничном слое турбулентной струи,

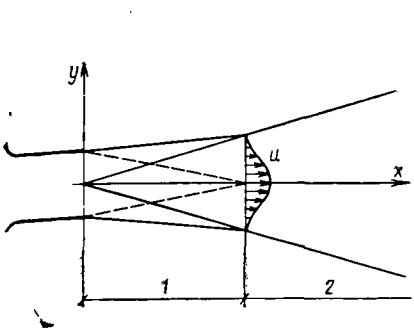


Рис. II.1. Схема свободной изотермической струи

1, 2 — соответственно начальный и основной участки

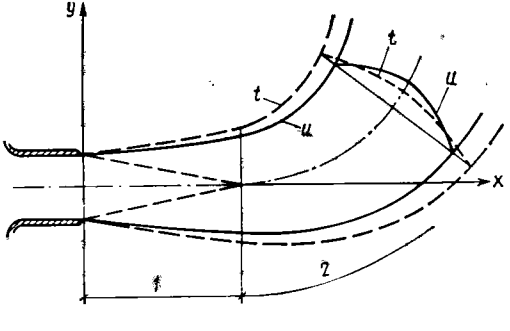


Рис. II.2. Схема свободной неизотермической струи

1, 2 — соответственно начальный и основной участки

настоящее время применяется ряд упрощающих гипотез о природе турбулентного движения, позволяющих описать профиль скоростей турбулентной струи в пограничном слое конечного размера или в асимптотически бесконечном слое.

Если температура струи отличается от температуры окружающего воздуха, то такая струя называется неизотермической. Так как плотность воздуха в неизотермической струе отличается от плотности окружающего воздуха, то под влиянием гравитационных сил траектория движения неизотермической струи будет искривляться. Вытекающая параллельно горизонту нагретая струя воздуха будет «всплывать» в помещении и, следовательно, траектория оси струи будет изгибаться вверх; охлажденная струя воздуха будет, наоборот, опускаться вниз.

Ось неизотермической струи может остаться прямолинейной только в том случае, если направление инерционных сил струи будет параллельно направлению гравитационных сил, т. е. струя будет истекать вертикально вверх или вертикально вниз.

По аналогии с изотермическими струями в расчетной схеме неизотермической струи различают начальный и основной участки (рис. II.2), полагая на начальном участке постоянство осевых скоростей и температур. Следует, однако, отметить, что, согласно опытным данным, профили температур в поперечном сечении струи несколько отличаются от профилей скоростей.

Современная теория свободных струй устанавливает между ними следующую связь:

$$\Delta t/\Delta t_x = (u/u_x)^{\sigma_т}, \qquad (II.1)$$

где $\delta_т$ — турбулентное число Прандтля, показывающее отношение коэффициентов турбулентного обмена импульса и теплоты; для практических расчетов вентиляционных струй величина $\delta_т$ может быть принята равной 0,65—0,7.

Если полагать, что тепловой пограничный слой отличается по ширине от динамического, то нет оснований считать их одинаковыми и на начальном участке. Экспериментальными исследованиями подтверждено, что ширина теплового пограничного слоя на на-

чальном участке несколько больше ширины динамическог слоя, а длина ядра постоянных температур в струе меньше длин ядра скоростей. Правда, это не имеет практического значения пр расчете вентиляции, так как при подборе воздухораспределител ных устройств определяющим является основной участок стру формирующий скоростные и температурные поля в воздухе пом щения.

Аналитический расчет свободных приточных вентиляционны струй базируется на следующих предпосылках.

1. Количество движения (импульс) в поперечном сечении стру сохраняется на всем ее протяжении:

$$\rho_0 u_0 F_0^2 = \int \rho u dF. \qquad \text{(II.}$$

2. Количество избыточного тепла в неизотермической струе та же сохраняется на всем ее протяжении:

$$c\rho_0 u_0 F_0 \Delta t_0 = \int c\rho u \Delta t \, dF. \qquad \text{(II.}$$

3. Распределение скоростей и температур в свободной стру подчиняется некоторому универсальному закону, связывающем их с геометрическими размерами струи. Наибольшее распростра нение в расчетной практике скоростных полей находит экспери ментальная формула Рейхарда:

$$u = \frac{u_x}{\exp 0{,}5\,(y/C_1 x)^2}, \qquad \text{(II.4}$$

гиперболическая формула Гартлера:

$$u = \frac{u_x}{\mathrm{ch}^2\,(y/C_2 x)} \qquad \text{(II.5}$$

и зависимость Шлихтинга для струи с фиксированными границами (полуширина струи составляет $y_{гр}$):

$$u = \frac{u_x}{(1 - y/y_{гр})^{1.5}}. \qquad \text{(II.6}$$

Экспериментальные постоянные $C_1 = 0{,}0828$ и $C_2 = 0{,}1$.

С теоретической точки зрения ни одна из приведенных выше зависимостей не является строгой, но результаты расчетов по ним настолько близки между собой, что почти невозможно установить преимущество одной зависимости перед другой.

Для расчета температурных полей могут быть использованы эти же зависимости, но с учетом формулы (II.1). Решения уравнений (II.2) и (II.3) позволяют определить скорость и избыточные температуры на изогнутой оси неизотермической струи.

В приточных вентиляционных струях гравитационные силы соизмеримы с инерционными силами и оказывают существенное влияние на траекторию движения струй. Связь между гравитационными и инерционными силами принято оценивать текущим критерием Архимеда:

$$\mathrm{Ar}_x = g x \Delta t_x / u_x^2 T_{окр}. \qquad \text{(II.7)}$$

Траекторию изогнутой оси неизотермической струи можно представить в виде

$$y = x\mathrm{Ar}_x k, \tag{II.8}$$

где k — эксперимментальный коэффициент, принимаемый обычно для осесимметричных струй равным 0,6, для плоских струй — 0,7.

Следует отметить, что текущий критерий Архимеда, учитывающий соотношение гравитационных и инерционных сил в струе, возрастает от сечения к сечению пропорционально расстоянию:

для осесимметричных струй

$$\mathrm{Ar}_x/\mathrm{Ar}_0 \sim (x/d_0)^2, \tag{II.9}$$

где

$$\mathrm{Ar}_0 = (gd_0/u_0^2)\,(\Delta t_0/T_{\text{окр}});$$

для плоских струй

$$\mathrm{Ar}_x/\mathrm{Ar}_0 \sim (x/b_0)^{1,5}, \tag{II.10}$$

где

$$\mathrm{Ar}_0 (gb_0/u_0^2)\,(\Delta t_0/T_{\text{окр}}).$$

Для расчета скорости и температуры в поперечных сечениях приточных вентиляционных струй можно использовать следующие простые зависимости.

Скорость на оси струи:

осесимметричной или веерной

$$u_x = mu_0 F_0^{0,5}/x; \tag{II.11}$$

плоской

$$u_x = mu_0 b_0^{0,5}/x, \tag{II.12}$$

где b_0 и F_0 — ширина и площадь приточного отверстия.

Избыточная температура на оси струи:

осесимметричной или веерной

$$\hat{a}t_x = n\Delta t_0 F_0^{0,5}/x; \tag{II.13}$$

плоской

$$\Delta t_x = n\Delta t_0 b_0^{0,5}/x. \tag{II.14}$$

Расход воздуха в струе:

осесимметричной

$$L = 2L_0 x/mF_0^{0,5}; \tag{II.15}$$

плоской

$$L = (L_0/m)\,(2x/b_0)^{0,5}; \tag{II.16}$$

веерной

$$L = (L_0 x/m)\,(2/F_0)^{0,5}. \tag{II.17}$$

Для расчета избыточной температуры в любой точке поперечного сечения струи можно использовать выражение

$$\Delta t = \Delta t_x (u/u_x)^{0,7}, \qquad (II.18)$$

где Δt_x, u и u_x определяются из уравнений (II.4)—(II.6), (II.11)—(II.14).

Значения аэродинамических и тепловых характеристик m и n для наиболее распространенных типов воздухораспределителей приведены в **табл. II.1.**

Таблица II.

Воздухораспределители	Коэффициенты		
	аэродинамический m	тепловой n	местного сопротивления
Цилиндрическая труба	6,8	4,8	1,1
Щелевое отверстие ($a/b > 10$)	2,5	2,0	—
Воздуховод перфорированный:			
прямоугольный	2,1	1,7	2,4
круглый	0,5	1,5	2,4
Решетки регулируемые типа РР с жалюзями:			
параллельными	4,5	3,2	2,2
под углом 90°	1,8	1,5	3,3
Воздухораспределитель типа ВПР:			
без экрана	0,7	0,75	2,5
с экраном	0,75	0,7	2,7
Воздухораспределитель типа:			
НРВ	2,0	1,6	3,0
ВСП	5,7	3,8	1,2
ВГК	6,2	5,1	1,9
ВДШп	0,8	0,65	1,3
Р	4,0	3,0	2,0
Воздухораспределитель типа ВР с лопатками, установленными под углом β, град:			
0	0,9	0,9	2,1
30	1,0	0,9	1,7
45	2,5	2,5	1,5
Душирующий патрубок Батурина с верхним подводом при угле α, град.:			
30	5,8	4,0	5,2
45	5,1	3,5	2,6

II.3. Конвективная струя

Конвективной струей в вентиляции называют естественную тепловую струю, возникающую над источником тепловыделения и оказывающую значительное влияние на характер движения воздуха в помещении. Поднимаясь вверх под действием гравитационных сил, конвективная струя так же, как и свободная инерционная струя, на всем своем протяжении подпитывается окружающим воз-

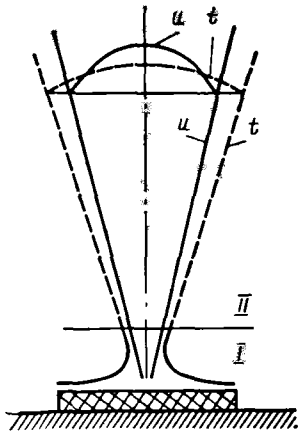


Рис. II.3. Схема конвективной струи
I, II — участки соответственно формирования и основной

духом, от сечения к сечению увеличивается в объеме при уменьшении температуры и скорости.

Многочисленные натурные исследования позволяют принять упрощенную схему конвективной струи (рис. II.3), согласно которой в струе можно выделить участок формирования *I* и основной участок *II*. На участке формирования под действием архимедовых сил непрерывно возрастает скорость движения и отдельные струйки сливаются в единый тепловой поток. В конце участка формирования осевая скорость потока достигает максимального значения. Участок формирования до настоящего времени еще недостаточно изучен; согласно опытным данным, протяженность его составляет около двух калибров ширины источника тепловыделения на плане.

При расчетах вентиляции наибольший интерес представляет основной участок. Движение теплового потока носит здесь турбулентный характер, что способствует расширению тепловой струи на всем ее протяжении. Расчет основного участка конвективных струй базируется на тех же предпосылках, что и расчет неизотермических струй. Для практических расчетов могут быть использованы следующие формулы.

Скорость на оси струи:

осесимметричной

$$u_x = 0{,}13\,(Q_0/x)^{1/3}; \tag{II.19}$$

плоской

$$u_x = 0{,}065\,Q_0^{1/3}, \tag{II.20}$$

где Q_0 — выделяемое источником конвективное тепло, Вт.

Избыточная температура на оси струи:

осесимметричной

$$\Delta t_x = 0{,}24\,(Q^2{}_0/x^5)^{1/3}; \tag{II.21}$$

плоской

$$\Delta t_x = 0{,}064\,(Q_0^{2/3}/x). \tag{II.22}$$

Расход воздуха в струе:

осесимметричной

$$L_x = 21(x^5 Q_0)^{1/3}; \qquad (II.23)$$

плоской

$$L_x = 51 x Q_0^{1/3}. \qquad (II.24)$$

Для определения скорости и температуры в любой точке поперечного сечения конвективной струи можно использовать формул (II.18), а также расчетные формулы (II.4)—(II.6), (II.19)—(II.22).

II.4. Распространение струй в ограниченном пространстве

Если в неограниченном пространстве инерционные и конвективные струи, развиваясь в одном направлении, вследствие турбулентности непрерывно расширяются и увеличиваются в объеме, присоединяют к себе все новые и новые части окружающего воздуха, то при распространении вентиляционных струй в помещении всегда приходится считаться с наличием обратных потоков, возникающих при взаимодействии струи с ограждающими конструкциями или технологическим оборудованием.

Как показывает практика, обратные потоки оказывают большое влияние на подвижность и температуру воздуха рабочей зоны. Установлено, что при сосредоточенной подаче воздуха в помещение в нескольких местах рабочей зоны возникают области повышенных скоростей, создаваемые обратными потоками: у пола помещения в точке *1*, у верхней границы рабочей зоны вблизи стены в точке *2* и в месте входа активной части струи в рабочую зону в точке *3* (рис. II.4, *а*).

При вентилировании рабочей зоны прямыми потоками струи (рис. II.4, *б*, *в*) часто возникает необходимость рассчитать предельное расстояние, которое проходит струя в рабочей зоне.

Развитие стесненных струй в помещении обычно происходит по транзитной или тупиковой схемам. При транзитной схеме вытяжное отверстие находится на противоположном от приточного отверстия конце помещения, поэтому происходит только поступательное движение транзитного воздуха (см. рис. II.4, *б*). При тупиковой схеме (см. рис. II.4, *в*) вытяжное отверстие расположено в той же плоскости, что и приточное, поэтому поступивший в помещение транзитный воздух на некотором расстоянии x_{max} (в зависимости от дальнобойности струи) прекращает поступательное движение и поворачивает обратно. Если дальнобойность струи x_{ma} меньше длины помещения, то в оставшейся тупиковой части помещения образуется слабо вентилируемая, практически застойная зона.

В инженерной практике иногда встречаются смешанные случаи расположения вытяжных отверстий (часть вытяжных отверстий находится в плоскости приточных решеток, а часть — в противоположном конце помещения) и струи, развивающиеся в таких помещениях, называются транзитно-тупиковыми.

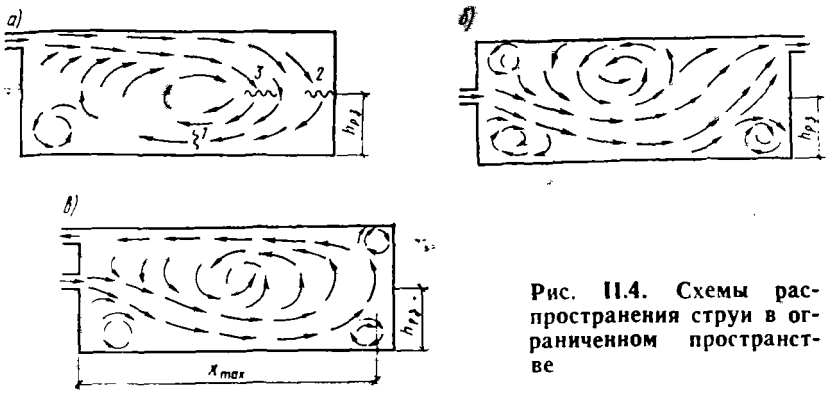


Рис. II.4. Схемы распространения струи в ограниченном пространстве

В стесненной струе экспериментально установлено два критических сечения. В первом критическом сечении, когда площадь струи в поперечном сечении будет равна 25% площади поперечного сечения помещения, скорость воздуха в струе начинает падать быстрее, а прирост количества перемещаемого воздуха замедляется. Во втором критическом сечении, когда площадь струи достигает 40% площади поперечного сечения помещения, размеры струи перестают возрастать и полностью прекращается подпитка окружающего воздуха.

Для расчета стесненных струй обычно используют формулы свободных турбулентных струй с соответствующими поправочными коэффициентами на стесненность.

Для определения расстояния до первого критического сечения можно использовать следующие выражения для струй:

осесимметричных

$$x_1 = 0{,}2mF_{п}^{0,5}; \qquad \text{(II.25)}$$

плоских

$$x_1 = 0{,}1m^2H_{п}, \qquad \text{(II.26)}$$

где m — коэффициент, учитывающий тип воздуховыпускного отверстия (см. табл. II.1); $F_{п}$ — площадь поперечного сечения помещения; $H_{п}$ — высота помещения.

Расстояние до второго критического сечения находится для струй:

осесимметричных

$$x_2 = 0{,}31mF_{п}^{0,5}; \qquad \text{(II.27)}$$

плоских

$$x_2 = 0{,}15m^2H_{п}. \qquad \text{(II.28)}$$

Дальнобойность развивающихся в ограниченном пространстве струй можно определить по формулам:

осесимметричных

$$x_{max} = 0{,}62mF_{п}^{0,5}; \qquad \text{(II.29)}$$

плоских

$$x_{max}=0{,}3m^2H_п. \qquad (II.30$$

Если кромка воздуховыпускного отверстия соприкасается с пло скостью ограждения помещения, а ось струи составляет с это плоскостью угол менее 40°, то приточная струя настилается н плоскость. Опыты показывают, что даже изотермическая струя выпускаемая параллельно потолку на расстоянии от него мене чем 0,15 $H_п$, настилается на плоскость потолка. К таким струям окружающий воздух подтекает только с одной стороны и поэтом их принято называть полуограниченными. Благодаря настилани струй удается значительно увеличить путь их движения и снизи скорости и перепады температур в местах поступления их в раб чую зону.

Полуограниченную струю можно рассматривать как полови свободной струи, имеющей двойную площадь $2F_0$, и использова для ее расчета формулы свободных струй. При этом по сравнени со свободной струей максимальная скорость в полуограниченно струе будет увеличена в $\sqrt{2}$ раза. По данным ВЦНИИОТ, при н стилании осесимметричной струи одновременно на потолок и прилегающую к нему стену максимальная скорость в струе увел чивается в 1,6—1,7 раза, а падение скорости в такой струе про ходит в 1,2—1,3 раза медленней, чем в струе, налипающей на од ну плоскость.

В современных промышленных зданиях приточная вентиляция как правило, совмещена с отоплением. При воздушном отоплени действие гравитационных сил может в значительной мере изменит направление приточных струй, поэтому обычно стараются приме нить воздухораспределители с приспособлениями, позволяющим регулировать направление струй.

II.5. Взаимодействие приточных струй

При расчетах вентиляции иногда возникает необходимость оп ределить параметры воздуха в суммарном потоке, образованно несколькими струями. Наиболее часто это встречается при проек тировании равномерной раздачи приточного воздуха параллельны ми струями (рис. II.5).

Существующие многочисленные методики расчета взаимодейст вующих струй в основном базируются на следующих предпосылках

в результате слияния струй и подпитки ими окружающего воз духа не изменяются количество движения и количество избыточ ной теплоты в суммарном потоке;

скорости и избыточные температуры в поперечном сечени взаимодействующих струй можно описать универсальными зависи мостями профилей скорости и температур свободных турбулентны струй.

На основании этих предпосылок могут быть получены расче ные формулы для определения скоростей и избыточных темпер

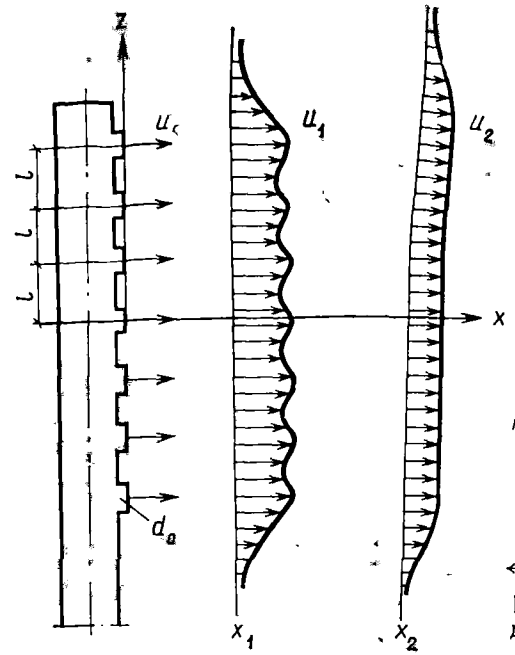


Рис. II.5. Схема равномерной раздачи воздуха параллельными струями

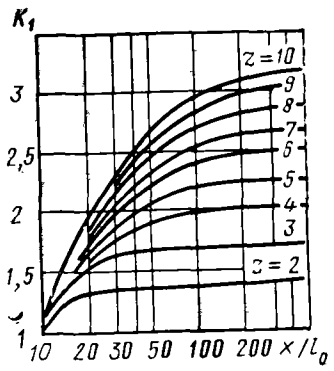


Рис. II.6. Зависимость коэффициента κ_1 от расстояния x/l_0 при различном числе струй

тур в любой точке суммарного воздушного потока. Так, для расчета струй, истекающих с одинаковыми скоростью и температурой из одинаковых круглых отверстий, расположенных в одной плоскости на равных расстояниях одно от другого, можно использовать простые по форме расчетные зависимости:

$$u/u_0 = m(d_0/x)k_1; \tag{II.31}$$

$$\Delta t/\Delta t_0 = n(d_0/x)k_1. \tag{II.32}$$

Для плоских струй, истекающих из параллельных щелей одинаковой ширины b_0, расчетные зависимости имеют аналогичный вид:

$$u/u_0 = m(b_0/x)^{0,5}k_1; \tag{II.33}$$

$$\Delta t/\Delta t_0 = n(b_0/x)^{0,5}k_1, \tag{II.34}$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий характер развития взаимодействующих струй и определяемый по графику (рис. II.6); m и n — аэродинамический и тепловой коэффициенты воздухораспределителей.

При взаимодействии направленных навстречу одна другой сосредоточенных струй результирующую скорость на оси встречных струй можно определить, пользуясь методом вычитания импульсов.

Примером взаимодействия приточных струй могут служить также активированные местные отсосы, применяемые для локализации источников вредных выделений (рис. II.7).

Для того чтобы активизировать движение загрязненного воздуха к отсосу, полностью исключить влияние на него подвижности воздуха помещения, источник выделения вредных веществ может быть экранирован воздушной струей (рис. II.8). Воздушно-струй-

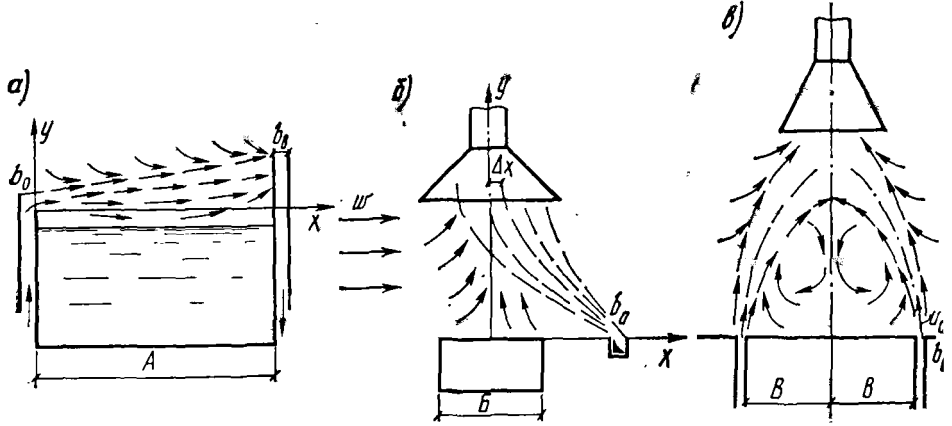


Рис. II.7. Виды активированных местных отсосов

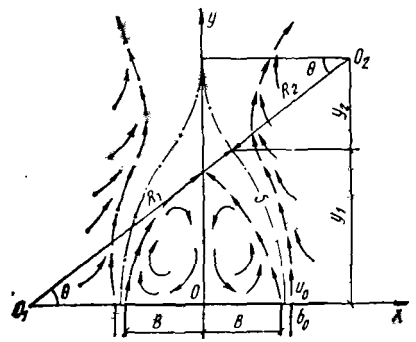


Рис. II.8. Расчетная схема воздушно-струйного ограждения

ные ограждения могут быть использованы для локализации конвективных потоков и сопутствующих им вредных газов, паров, аэрозолей, удаляемых вынесенными на значительное расстояние от источника вредных выделений аэрационным фонарем, вытяжной шахтой, зонтом, всасывающей панелью или каким-либо другим воздухоприемным устройством. Таким способом можно предохранить воздух производственного помещения от попадания в него вредных примесей. В определенных условиях внутри воздушно-струйного ограждения может возникнуть зона пониженного статического давления, способствующая смыканию ограждающих струй и полной изоляции загрязненного потока от окружающего пространства. При этом траектория самой ограждающей струи под влиянием перепада статического давления может изогнуться.

Задача об искривлении струи вследствие разности статических давлений на ее противоположных поверхностях решается из условия уравновешивания сил, обусловленных разностью статических давлений и центробежной силой струи. Для упрощения расчета разность статических давлений в пределах рассматриваемого участка принимается постоянной, а распределение скорости в поперечном сечении изогнутой струи аналогичным распределению скорости в свободной турбулентной струе.

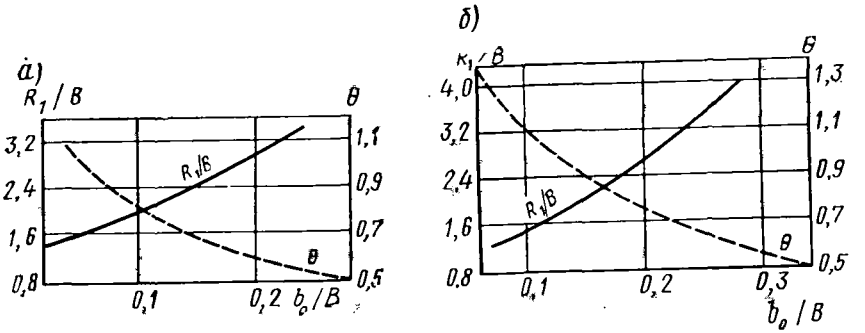


Рис. II.9. Зависимость геометрических характеристик ограждающей струи от отношения b_0/B

а, б — для струй соответственно кольцевой и плоско-параллельной

При проектировании воздушно-струйных ограждений источник вредных выделений может иметь:

а) компактную форму и быть оборудован кольцевым воздушно-струйным ограждением;

б) большую протяженность и быть огражден с двух сторон струями, вытекающими из узких длинных щелей.

Согласно экспериментальным данным, статическое разрежение в огражденном струями пространстве составляет:

$$\Delta p_1 = k_2 (b_0/R_1)\,(\rho u_0^2/2), \qquad (II.35)$$

где k_2 — коэффициент, принимаемый для кольцевых струй равным 2,86, для сдвоенных параллельных — 2,0; b_0 — ширина приточного отверстия; R_1 — радиус кривизны изогнутой оси ограждающей струи; u_0 — скорость воздуха на истечении из приточного отверстия.

Опыты показали, что развитие внутренних и наружных границ изогнутых струй происходит по-разному: если угол раскрытия наружной полуструи сохраняется приблизительно таким же, как при свободном турбулентном истечении, то угол раскрытия внутренней изогнутой полуструи имеет переменный характер. Так, если в начальных сечениях угол раскрытия внутренней полуструи составляет 7—8°, то затем он возрастает и вблизи точки смыкания струй составляет в двойных плоско-параллельных струях 15°, а в кольцевых — 18°.

При слиянии ограждающих струй возрастает статическое давление. Согласно опытным данным, избыточное статическое давление на участке слияния струй определяют по выражению:

$$\Delta p_2 = A\,(b_0/B)^{\Psi}\,(\rho u_0^2/2)\exp(z_0\, b_0/B), \qquad (II.36)$$

где для кольцевой струи: $A=2{,}54$; $\Psi=1{,}24$; $z_0=-4{,}04$; для двойной плоско-параллельной струи: $A=13{,}18$; $\Psi=2{,}15$; $z_0=-6{,}18$.

При расчете геометрических характеристик ограждающих струй радиус кривизны R_1 и угол деформации изогнутой оси струи Θ определяется по графику (рис. II.9).

Расстояние до плоскости смыкания ограждающих струй, имеющей минимальные поперечные размеры суммарного потока, составляет:

$$y = R_1 \sin\theta. \qquad (II.3$$

II.6. Течение воздуха вблизи всасывающего отверстия

Изучение закономерностей течения воздуха вблизи всасывающего отверстия имеет важное значение для расчета общеобменной и особенно местной вентиляции. Как показывают опыты, затухание скоростей движения воздуха вблизи всасывающего отверстия происходит гораздо интенсивнее, чем у приточного. Объясняется это тем, что при всасывании воздух подтекает к отверстию со всех сторон, а при истечении из приточного отверстия он движется в узком пространстве, ограниченном углом расширения струи.

Так как течение воздуха вблизи всасывающего отверстия носит потенциальный характер, то для расчета всасывающего факела обычно используют известные методы аэродинамики для потенциальных течений: наложение потоков, конформное отображение, интегрирование уравнения Лапласа и др.

Наиболее наглядно характер развития всасывающего факела можно представить на примере идеального точечного и линейного стоков на плоскости или в пространстве. Примерной моделью точечного стока может служить шарик радиусом r с бесконечно большим количеством мелких отверстий на поверхности, через которые всасывается воздух (рис. II.10).

Если количество поглощаемого шариком воздуха принять равным L, м^3/ч, то скорость u_1 движения воздуха в точке сферы всасывания, находящейся на расстоянии r_1 от центра шарика, будет составлять:

$$u_1 = L/4\pi r^2_1, \qquad (II.38)$$

а на расстоянии r_2—

$$u_2 = L/4\pi r^2_2. \qquad (II.39)$$

Совместное решение этих равенств позволяет выявить обратно пропорциональную зависимость изменения скорости всасывания вблизи точечного стока от квадрата расстояния до него:

$$u_1/u_2 = (r_2/r_1)^2. \qquad (II.40)$$

Аналогично рассуждая, можно получить для идеального линейного стока в пространстве следующую зависимость:

$$u_1/u_2 = r_2/r_1. \qquad (II.41)$$

Экспериментальные исследования подтверждают, что затухание всасывающего факела в компактных отверстиях происходит быстрее, чем в щелевых (рис. II.11).

Для расчетов осевой скорости всасывающего факела вблизи отверстий в стене можно пользоваться следующими зависимостями:

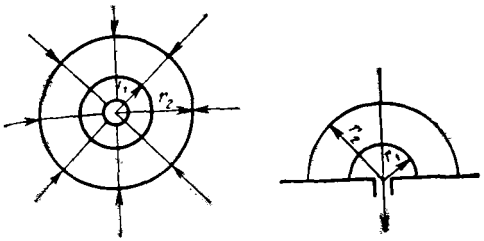


Рис. II.10. Схема спектра всасывающего факела

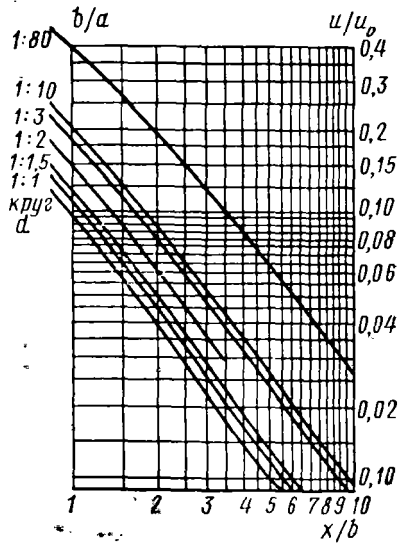


Рис. II.11. Зависимость осевой скорости от отношения x/b вблизи всасывающего отверстия различной формы

для круглого

$$u = u_0 \left[1 - 2x/d_0 \sqrt{1 + (2x/d_0)^2}\right], \qquad (II.42)$$

где u_0 — скорость во всасывающем отверстии; d_0 — диаметр отверстия;

для прямоугольного

$$u = (2u_0/\pi) \operatorname{arcctg}(x/b) \sqrt{1 + b^2/a^2 (1 + x^2/b^2)}, \qquad (II.43)$$

где a, b — размеры отверстия.

В случае бесконечно длинной щели ($a = \infty$) уравнение (II.43) упрощается:

$$u = (2u_0/\pi) \operatorname{arcctg}(x/b).$$

Пример II.1. Рассчитать скорость на оси всасывающего факела на расстоянии 1,0 *м* от круглого вытяжного отверстия $d_0 = 250$ мм. Скорость в вытяжном отверстии $u_0 = 15$ м/с.

Решение. Согласно формуле (II.42) получим:

$$u = 15\left[1 - \frac{2 \cdot 1}{0{,}25} \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1}{0{,}25}\right)^2}\right] = 0{,}15 \text{ м/с}.$$

II.7. Взаимодействие всасывающего факела и приточной струи

При рассредоточенной подаче и вытяжке воздуха расположение вытяжных отверстий не оказывает существенного влияния на характер циркуляции воздуха в помещении, а следовательно, и на распределение параметров воздуха. Однако опыт показывает, что при устройстве вытяжных отверстий значительной площади, т. е. при сосредоточенной вытяжке, направление циркуляционных потоков может несколько смещаться в сторону этих отверстий.

Наиболее наглядно характер взаимодействия всасывающего факела и приточной струи можно продемонстрировать на примере активированных местных отсосов, отдельные виды которых представляют собой по существу комбинацию вытяжки и притока (см. рис. II.7).

Для увеличения зоны действия местного отсоса с противоположной стороны источника вредных выделений располагают приточное отверстие. Плоская или круглая приточная струя, направляясь к центру местного отсоса, проходит зону вредных выделений и создает как бы воздушную завесу, препятствующую поступлению вредных выделений в помещение. Ассимилируя выделяющиеся вредные газы, пары, аэрозоли, инерционный воздушный поток перемещается в зону активного действия всасывающего факела местного отсоса и удаляется через вытяжное отверстие. Поскольку действие приточной струи проявляется на большом расстоянии, активированному местному отсосу требуется значительно меньше воздуха по сравнению с обычным местным отсосом.

Для эффективности передувки количество воздуха, удаляемое отсосом, должно соответствовать количеству воздуха для поддува и воздуха, подсасываемого к струе по пути к щели отсоса. Если отсасываться будет меньше этого суммарного объема, то остальная часть загрязненного воздуха будет поступать в помещение.

В инженерной практике известно несколько видов передувок. В одном случае поддувающая струя настилается на зеркало ванны и транспортирует выделяющиеся вредные газы, пары и аэрозоли к бортовому отсосу (см. рис. II.7, *а*). Непременное условие работы передувки такого типа состоит в том, чтобы на пути поддувающей струи к отсосу не было преград, которые могли бы отклонить и рассеять струю.

В другом случае поддувающая струя и отсос располагаются в пространстве, вдали от возможных препятствий. Передувка такого типа применяется, например, у травильных ванн, когда значительное количество вредных примесей выделяется в воздух при выемке изделий из ванны или при их перегрузке. Отсос здесь устанавливается значительно выше бортов ванны, поддувающая струя не стелется по поверхности ванны, а движется на некотором расстоянии от нее (см. рис. II.7, *б*). Достоинство такой передувки заключается в том, что она отводит вредные выделения с поверхности не только ванны, но и вынимаемых изделий, предотвращая неприятные явления, связанные с конденсацией влаги на перекрытиях и наружных ограждениях.

В том случае, когда поддувающая струя не стелется по поверхности ванны, а движется на некотором расстоянии от нее, подмешивание воздуха к ней происходит со всех сторон и поэтому объем удаляемого от отсоса воздуха значительно возрастает.

Применение воздушно-струйных ограждений (см. рис. II.7, *в*) позволяет полностью экранировать источник вредных выделений и защитить воздух производственного помещения от попадания в него вредных примесей.

В последнее время отечественная промышленность начала выпускать комбинированные местные отсосы заводского изготовления, представляющие собой сочетание в одном агрегате местного отсоса и приточного устройства. Между зоной притока и вытяжки в агрегате установлена разделительная стенка, которая позволяет подавать приточный воздух в рабочую зону в таком количестве, которое обеспечивает направленность потока из рабочей зоны в сторону вытяжной части.

Наглядным примером успешного использования комбинированного отсоса может служить вентиляция кухонного помещения предприятия общественного питания, оснащенная выпускаемым в настоящее время модульным технологическим оборудованием.

Если обычная местная вытяжная вентиляция должна компенсироваться соответствующим притоком наружного воздуха, на подогрев которого требуются значительные затраты теплоты, то для передувок и воздушных ограждений можно вторично использовать воздух помещения, удаляемый вытяжной общеобменной вентиляцией. В некоторых случаях при должном обосновании для этих целей можно использовать наружный неподогретый воздух.

Для расчета взаимодействия всасывающего факела и приточной струи применяют аналитические и экспериментальные методы. Обобщение результатов натурных измерений показывает, что продольную составляющую скорости результирующего потока для соосной системы струя — отсос с достаточной для практических расчетов точностью можно принять равной:

$$u = \sqrt{u_{\text{п}}^2 + u_{\text{в}}^2}, \qquad \text{(II.44)}$$

где $u_{\text{п}}$, $u_{\text{в}}$ — продольные составляющие скоростей приточной струи и всасывающего факела.

Аналитическое определение параметров потока в зоне взаимодействия струи с отсосом осложнено из-за наличия значительного пространственного градиента давления. Как установлено В. Н. Посохиным, давление в зоне взаимодействия струй обусловлено не только наличием близко расположенного всасывающего факела, но и действием приточной струи, вызывающим дополнительное давление вследствие перехода части кинетической энергии в потенциальную энергию статического давления. Это добавка выражается полуэмпирической формулой

$$\Delta p = \rho k_3 u_{\text{п}} u_{\text{в}}, \qquad \text{(II.45)}$$

где k_3 — опытный коэффициент, зависящий от координат данной точки.

В общем виде давление в зоне взаимодействия струй описывается уравнением

$$p = -\rho (u^2/2) + \rho k_3 u_{\text{п}} u_{\text{в}}. \qquad \text{(II.46)}$$

Указанные уравнения более или менее точно описывают взаимодействие приточной и вытяжной струй в соосной системе. Если отсос будет расположен по отношению к приточной струе несоос-

но, то картина течения усложняется и эти уравнения требуют уточнения.

Устойчивость локальной системы струя — отсос относительно неорганизованных потоков воздуха помещения обычно оценивается скоростью на оси воздушного потока в сечении, где влияние приточной струи уже ослаблено, а действие всасывающего факела еще невелико. Расстояние до этого сечения от приточного отверстия, согласно данным Т. А. Фиалковской, составляет:

$$x = k_4 A, \tag{II.47}$$

где A — расстояние между приточным и вытяжным отверстиями; k_4 — коэффициент, принимаемый для плоской струи равным 0,875, для осесимметричной — 0,848.

Скорость в предельном сечении системы струя — отсос обычно принимают равной $u_{min} = 1 \div 2$ м/с с учетом того, чтобы она была больше скорости распространения в воздухе помещения вредных примесей.

Зная минимальную скорость в предельном сечении приточной струи и вытяжного факела и задаваясь средней скоростью движения воздуха во всасывающем и приточном отверстиях, определяют размеры приточного и вытяжного отверстий для струй:

круглой

$$d_п = 0{,}138A(u_{min}/u_п); \tag{II.48}$$

$$d_в = 0{,}196A(u_{min}/u_в)^{0.5}; \tag{II.49}$$

плоской

$$b_п = 0{,}131A(u_{min}/u_п)^2; \tag{II.50}$$

$$b_в = 0{,}202A(u_{min}/u_в). \tag{II.51}$$

При расчете несоосных активированных местных отсосов можно задаться относительным допустимым отклонением оси приточной струи от центра всасывающего отверстия: $\Delta x/y_1 = 0{,}1 \div 0{,}2$ (0,1 — для особо вредных веществ) и, зная скорость истечения приточной струи $u_п$ и подвижность воздуха помещения ω, определить ширину приточного отверстия:

$$b_п = 1{,}44\Delta x/y_1(\omega/u_п)^2 y_1. \tag{II.52}$$

Объем воздуха, удаляемого отсосом, равен:

$$L_в = 0{,}54\sqrt{L_п u_п l y_1}, \tag{II.53}$$

где $L_п$ — объем приточного воздуха, равный $L_п = u_п l b_п$; l — длина приточной щели, м.

Площадь, м^2, всасывающего отверстия отсоса составляет:

$$F_в = 1{,}5Бl, \tag{II.54}$$

где $Б$ — характерный размер источника вредных выделений.

Пример II.2. Рассчитать активированный зонт для (см. рис. II.7,*б*) выбивной решетки на участке выбивки опок чугунных ванн. Размеры выбивной решетки: $Б = 1{,}3$ м; $l = 1{,}65$ м.

Р е ш е н и е. 1. Принимаем длину приточного отверстия равной длине выбивной решетки $l = 1{,}65$, высоту установки зонта $y_1 = 3{,}0$ м, относительное отк-

лонение струи от центра зонта $\Delta x/y_1=0{,}1$ (так как выделяется акролеин — 2-й класс опасности по табл. 4 СН 245-71).

2. Принимаем скорость истечения приточной струи $u_п=12$ м/с, подвижность воздуха помещения $\omega=0{,}4$ м/с.

3. Вычисляем ширину приточного отверстия:

$$b_п = \frac{1{,}44}{\Delta x/y_1}(\omega/u_п)^2 y_1 = \frac{1{,}44}{0{,}1}\left(\frac{0{,}4}{12}\right)^2 3 = 0{,}0448 \text{ м}.$$

Принимаем $b_п=0{,}05$ м.

4. Объем приточного воздуха

$$L_п=3600u_п l b_п=3600\cdot 12\cdot 1{,}65\cdot 0{,}05=3600 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

5. Объем отсасывающего воздуха:

$$L_в = 0{,}54\sqrt{L_п u_п l y_1} = 0{,}54\sqrt{3600\cdot 12\cdot 1{,}65\cdot 3} = 14\,980 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

6. Определяем площадь зонта:

$$F_b=1{,}5\ Б\ l=1{,}5\cdot 1{,}3\cdot 1{,}65=3{,}22 \text{ м}^2.$$

ГЛАВА III. ПРИТОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

III.1. Унификация воздухораспределительных устройств

При правильной организации воздухообмена в помещениях, включающей схему воздухообмена, способ подачи и удаления воздуха, определение расчетного воздухообмена, обеспечиваются нормативные значения содержания вредных веществ в воздухе рабочей или обслуживаемой зон, а также нормальное санитарно-гигиеническое состояние воздуха в помещении.

Применение эффективных воздухораспределителей способствует совершенствованию технических решений систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления, что существенно влияет на обеспечение нормируемого микроклимата и снижение капитальных и эксплуатационных затрат на эти системы.

В настоящее время Госстроем СССР утверждены «Рекомендации по выбору и расчету систем воздухораспределения» (серия АЗ-669), регламентирующие 29 конструкций воздухораспределительных устройств с общим числом типоразмеров 183. Анализ типизированных конструкций воздухораспределителей показывает, что некоторые из них (ВЭЦ, ВЦ, ВЭП) дублируют друг друга: образуют приточные струи одинакового типа и имеют близкие аэродинамические характеристики. Кроме того, несмотря на требования СНиП, ряд воздухораспределителей (ВЭС, ВЭП, ВЦ, ВДШ, ВПЭП, ВЭЦ, ВПК, ВПП) не имеет приспособлений для регулирования направления потока и его характеристик, хотя такие устройства необходимы и, в первую очередь, для систем с переменным расходом воздуха и систем вентиляции, совмещенных с воздушным отоплением.

Следует отметить, что некоторые воздухораспределительные устройства имеют несовершенные аэродинамические схемы и характеризуются высокими значениями коэффициента местного сопротивления, что ведет к увеличению затрат энергии.

Ежегодная потребность страны в воздухораспределительных

устройствах составляет около 1 млн., однако вопрос об индустриальном их изготовлении решен не полностью. Поэтому на практике приходится заменять запроектированные воздухораспределители на имеющиеся, вследствие чего снижается качество проектных решений и ухудшаются экономические показатели. Некоторые конструкции воздухораспределителей не удовлетворяют архитектурным требованиям и при сооружении уникальных объектов их приходится приобретать за рубежом.

Государственный комитет по науке и технике и ВЦСПС предусмотрели программу по созданию унифицированного ряда регулируемых воздухораспределительных устройств, которая выполнялась ведущими научно-исследовательскими и проектными организациями. В рамках этой программы были разработаны методические документы. Для возможности объективного сравнения существующих конструкций создана «Методика оценки уровня качества конструкций воздухораспределителей», в основу которой положен ГОСТ 23554.1—79. С целью единообразного проведения испытаний воздухораспределителей в лабораторных условиях создана «Методика испытаний моделей воздухораспределителей».

По способу подачи воздуха унифицированные воздухораспределительные устройства классифицируют на следующие:

для сосредоточенной подачи воздуха — ВСП (серия 5.904-18) и ВГК (серия 4.904-68);

для подачи воздуха наклонными струями в направлении рабочей зоны — ВПР (серия 5.904-9) и НРВ (серия 1.494-37);

для подачи воздуха веерными, коническими, неполными веерными и компактными струями сверху вниз — плафоны ВР (серия 5.904-21) и ВДШп (серия 4.904-29);

для подачи воздуха непосредственно в рабочую зону — ВЭПш (серия 1.494-38) и МЭПш (серия 5.904-22);

воздушного душирования — ПДв и ПДн (серия 4.904-36);

вентиляционные решетки — РР (серия 1.494-8) и Р (серия 1.494-10).

Кроме того, воздухораспределители классифицируются по следующим признакам:

месту установки (в верхней зоне, в рабочей зоне и приравненной к ней);

способу подачи воздуха (горизонтальный, вертикальный и наклонный);

форме воздушной струи (компактной, веерной, конической, неполной веерной, плоской);

возможности регулирования в процессе эксплуатации угла наклона и степени затухания струй.

III.2. Воздухораспределители для сосредоточенной подачи воздуха

В связи с увеличением размеров производственных помещений возникает необходимость подачи большого количества приточного воздуха. В этих условиях экономически выгодной является сосре-

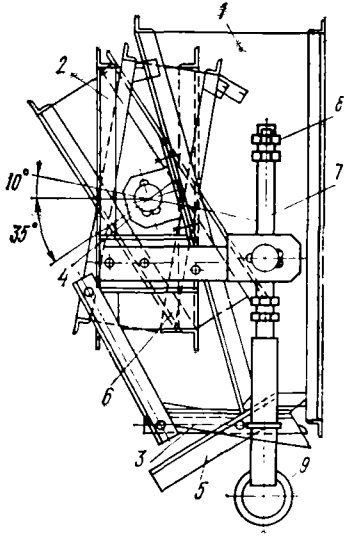


Рис. III.1. Схема воздухораспределителя ВСП

доточенная подача воздуха из небольшого числа воздухораспределителей; при использовании большого числа воздухораспределителей сильно разветвляется сеть и значительно увеличивается объем заготовительно-монтажных работ.

Воздухораспределители, располагаемые выше рабочей зоны, осуществляют сосредоточенную подачу воздуха компактными струями. При таком способе подачи воздуха воздушные струи имеют большую дальнобойность и наименее подвержены влиянию гравитационных сил.

Наиболее эффективными воздухораспределителями для сосредоточенной подачи воздуха являются воздухораспределители типа ВСП и ВГК. Воздухораспределители ВСП предназначены для подачи воздуха в производственные и вспомогательные помещения, осуществляемой системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также для душирования группы постоянных рабочих мест. Эти воздухораспределители подают воздух компактными струями путем внедрения их в рабочую зону вентилируемого помещения или выше рабочей зоны, когда параметры воздуха в ней формируются обратными потоками.

Воздухораспределители ВСП устанавливают на прямых участках сети, ее ответвлениях и на отводах воздуховодов выше рабочей зоны (на расчетной высоте). Допускается установка воздухораспределителей непосредственно на отводах воздуховодов без переходных прямых участков.

Воздух к воздухораспределителям подводится с помощью воздуховодов сверху из внутрифермного пространства, снизу из подпольных каналов и сбоку.

Воздухораспределитель ВСП (рис. III.1) состоит из неподвижного патрубка *1* прямоугольного сечения с фланцами для присоединения к воздуховоду, поворотного патрубка *2*, имеющего гори-

зонтальные и вертикальные полки, и заслонки *3*. Патрубок *2* благодаря шарниру *4*, находящемуся в центре тяжести поворотной части, имеет возможность поворачиваться вверх от горизонтали на угол 10° и вниз — на угол 35°. Заслонка *3*, установленная на осях *5* в проеме нижней стенки неподвижного патрубка, благодаря соединению тягами с поворотным патрубком поворачивается синхронно с ним на соответствующий угол.

Поворот патрубка и заслонки производится с помощью рычага *6* и винта *7*. На винте расположены два упора *8*, ограничивающих крайние положения поворотного патрубка. Упоры на два режима устанавливают при наладке системы воздухораспределения.

Управление поворотом патрубка выполняется специальной штангой с крюком; крюк навешивается на кольцо *9* и поворачивается вручную на необходимое число оборотов.

При повороте патрубка благодаря некоторому увеличению площади выхода воздуха из патрубка, коэффициент местного сопротивления практически не изменяется, что обеспечивает гидравлическую устойчивость вентиляционной системы при ее регулировании на режимы эксплуатации в разных периодах года.

Размерный ряд воздухораспределителей ВСП обеспечивает расход воздуха 4000—180 000 м³/ч (табл. III.1).

Таблица III.1

Типоразмер	Количество подаваемого воздуха, м³/ч	Размеры, мм	Расчетная площадь, м²	Масса, кг
ВСП1	3600—10800	500×500	0,25	22,0
ВСП2	14400—43200	1000×1000	1,0	56,5
ВСП3	20700—62100	1200×1200	1,44	76,5
ВСП4	36900—110700	1600×1600	2,56	136,0
ВСП5	57600—172800	2000×2000	4,0	186,5

Воздухораспределители ВГК рекомендуется применять для сосредоточенной подачи воздуха компактными струями, выпускаемыми выше рабочей зоны. В этом случае параметры воздуха в рабочей зоне формируются обратными потоками. Воздухораспределители ВГК могут быть использованы также для душирования группы постоянных рабочих мест и для подачи воздуха путем внедрения приточной струи в рабочую зону вентилируемого помещения. Эти воздухораспределители устанавливаются в совмещенных системах воздушного отопления и вентиляции (кондиционирования воздуха) производственных и вспомогательных помещений.

Выпуск воздуха следует предусматривать так, чтобы воздушные струи не встречали на своем пути массивных строительных конструкций или оборудования. Расстояние от мест выпуска воздуха до возможных препятствий должно быть не менее удвоенной высоты помещения. Выпуск воздуха рекомендуется осуществлять: при высоте помещения менее 8 м — настилающимися струями, бо-

лее 8 м — ненастилающимися струями. Струя настилается на потолок при выпуске воздуха от пола на расстоянии 0,85 $H_{пом}$, где $H_{пом}$ — высота помещения, м.

Ненастилающаяся струя образуется при $h = (0{,}35 \div 0{,}65)\, H_{пом}$, где h — высота установки воздухораспределителя от пола, м. В этих случаях минимальное расстояние по вертикали от верхнего уровня рабочей зоны до места выпуска воздуха должно быть не менее $0{,}3\sqrt{F_{пом}}$, где $F_{пом}$ — площадь, м², поперечного сечения помещения в плоскости, перпендикулярной потоку воздуха, приходящаяся на один воздухораспределитель.

Длину зоны, обслуживаемой одним воздухораспределителем ВГК, следует принимать не более $5\sqrt{F_{пом}}$, а расстояние между ними в плане при установке в ряд — не более трех высот помещения. При многорядной установке воздухораспределителей ВГК в помещении рекомендуется осуществлять встречную подачу воздуха.

Количество воздуха L_0, подаваемого одним воздухораспределителем ВГК в пределах рекомендуемых значений $v_0 = 5 \div 15$ м/с, приведено в табл. III.2 (v_0 — начальная скорость движения воздуха, отнесенная к расчетной площади воздухораспределителя).

Таблица III.2

Типоразмер	Количество подаваемого воздуха, м³/ч	Расчетная площадь, м²	Типоразмер	Количество подаваемого воздуха, м³/ч	Расчетная площадь, м²
ВГК-1	5750—17200	0,32	ВГК-3	23000—69000	1,28
ВГК-2	11500—34500	0,64	ВГК-4	46000—138000	2,56

Воздухораспределители ВГК разработаны для нижнего, верхнего и горизонтального подвода воздуха. При нижнем подводе воздуха их устанавливают:

на концевом участке вертикального воздуховода — воздухораспределители $ВГК_{н}$ (рис. III. 2, *а*);

на вертикальном воздуховоде — воздухораспределители $ВГК_{нв}$ (рис. III. 2, *б*).

При верхнем подводе воздуха воздухораспределители ВГК устанавливают:

на концевом участке вертикального воздуховода — воздухораспределители $ВГК_{в}$ (рис. III. 2, *в*);

на вертикальном воздуховоде — воздухораспределители $ВГК_{вв}$ (рис. III. 2, *г*).

При горизонтальном подводе воздуха воздухораспределители ВГК устанавливают:

на горизонтальном воздуховоде при подводе воздуха слева — воздухораспределители $ВГК_{лг}$

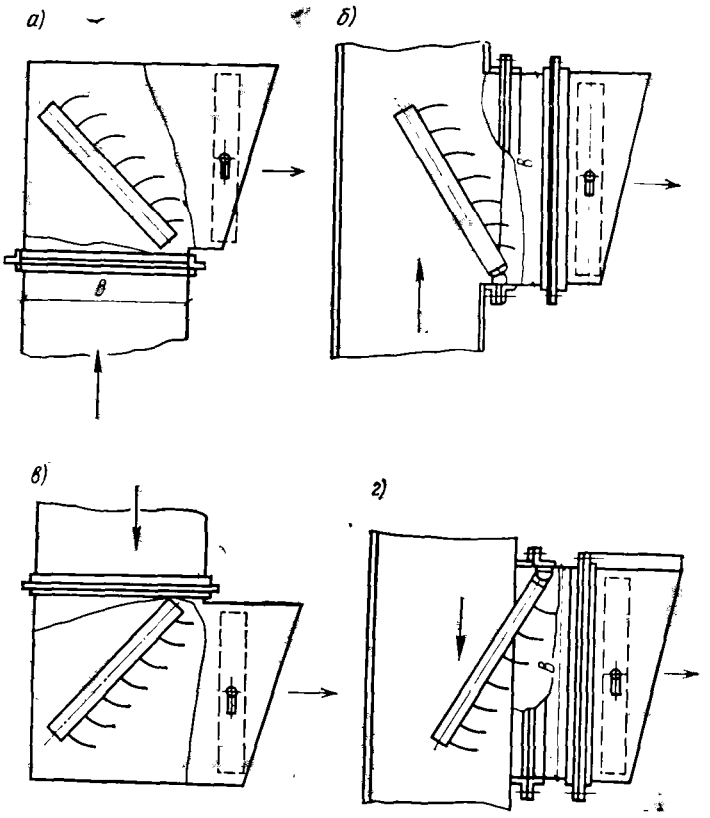


Рис. III.2. Схема воздухораспределителя ВГК

на горизонтальном воздуховоде при подводе воздуха справа — воздухораспределители ВГК$_{пг}$

на концевом участке горизонтального воздуховода (в торце) — воздухораспределители ВГК$_{т}$.

Воздухораспределитель ВГК состоит из корпуса, в котором установлены рама с направляющими лопатками и решетка. Направляющие лопатки выполнены поворотными и фиксируются при наладке после установки их в оптимальное положение. Для удобства установки направляющих лопаток на торцах их осей имеются шлицы, расположение которых соответствует положению лопаток. Решетка также имеет возможность поворота и фиксации в пределах 20° от вертикального положения с целью обеспечения регулирования направления подачи воздуха (струи) в помещение.

Воздухораспределитель ВГК следует устанавливать на воздуховоде: прямоугольного сечения — на фланце, врезанном в воздуховод; круглого сечения — на переходе, выполняемом при монтаже.

III.3. Воздухораспределители для подачи воздуха наклонными струями в направлении рабочей зоны

Выпуск воздуха в непосредственной близости к рабочей зоне с высоты не более 4 м горизонтальными и наклонными струями нормами проектирования допускается рассматривать как подачу воздуха в рабочую зону. Выпуск воздуха вблизи рабочей зоны обеспечивает активное движение струй основного потока, что, как правило, создает удовлетворительную равномерность параметров воздуха в рабочей зоне при относительно высоком коэффициенте воздухообмена. Наиболее эффективен для такого способа подачи воздуха воздухораспределитель ВПР и НРВ.

Воздухораспределители ВПР (рис. III. 3) предназначены для подачи приточного воздуха веерными или коническими струями и имеют возможность сезонного регулирования угла наклона приточных струй к горизонтальной плоскости в пределах ±35°.

Размерный ряд воздухораспределителей обеспечивает подачу воздуха в количестве 3000—90 000 м³/ч системами вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха производственных помещений. Эти воздухораспределители рекомендуется устанавливать на высоте не менее 2,5 м от пола.

Воздухораспределители устанавливают между колонн, у колонн и у стен помещений: между колонн — воздухораспределители без экранов; у колонн и у стен — воздухораспределители соответственно с одним и с двумя экранами.

Подвод приточного воздуха к воздухораспределителям из вентиляционной сети производится сверху или снизу в зависимости от способа ее прокладки (во внутрифермном пространстве, в подпольных каналах и др.).

Воздухораспределители ВПР имеют пять размеров и четыре исполнения, отличающихся следующими особенностями:

диаметром присоединительного патрубка — 500, 800, 1000, 1400 и 1600 мм;

способом управления (регулирования) — верхним и нижним;

наличием экранов или их отсутствием.

Воздухораспределители состоят из неподвижной и подвижной частей. Неподвижная часть состоит из фланца с перекладиной и двух дисков, соединенных между собой кронштейнами и винтом, вставленным в нижний диск; подвижная — из двух дисков, соединенных между собой кронштейнами, и втулки в центре дисков, соединенной с нижним диском посредством ребер.

Регулирование направления струй в теплый и холодный периоды года производится по указателям перемещения подвижной части воздухораспределителя относительно неподвижной путем поворота винта. Указатели перемещения устанавливают при наладке системы воздухораспределения.

При эксплуатации в зависимости от режима работы подвижная часть устанавливается по указателям в заданное положение. Для обслуживания воздухораспределителей с пола помещения предус-

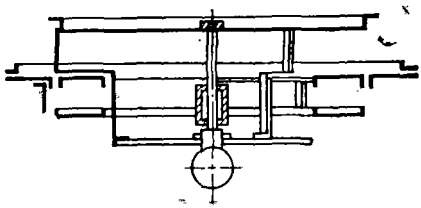


Рис. III.3. Схема воздухораспределителя ВПР

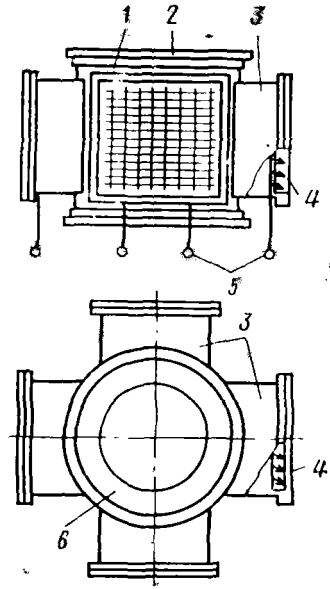


Рис. III.4. Схема воздухораспределителя НРВ

смотрена специальная штанга, имеющая на конце крюк. Крюком штанга навешивается на кольцо как для воздухораспределителей ВСП. При обслуживании воздухораспределителей с верхним управлением регулирование производится через люк в подводящем воздуховоде.

На режимах, близких к изотермическим, или при подаче воздуха для компенсации местной вытяжки воздухораспределители в зависимости от местных условий могут устанавливаться на любой высоте выше 2,5 м.

Приколонный регулируемый веерный воздухораспределитель НРВ (рис. III. 4) предназначен для раздачи воздуха в промышленных цехах большого объема. Он представляет собой цилиндрический корпус *1*, имеющий присоединительный фланец *2* с двумя или четырьмя патрубками прямоугольной формы с регулируемыми решетками *3* типа РР. Внутри корпуса установлена диафрагма *4* для выравнивания скорости движения воздуха, выходящего из решеток. С помощью фланца воздухораспределитель присоединяется к вертикальному участку воздуховода. Управление поворотом лопаток решеток в вертикальной плоскости производится тягами *5*. Выпуск воздуха осуществляется через патрубок *6*. Обозначения и основные параметры воздухораспределителя НРВ приведены в табл. III.3, где D — диаметр подводящего воздуховода с четырьмя патрубками; D_0 — то же, с двумя патрубками; L_1 — расстояние от оси до патрубка при 2-струйных воздухораспределителях; L_2 — расстояние между патрубками при 4-струйных воздухораспределителях; H — высота воздухораспределителя.

Таблица III.3

Воздухораспределители		Число выпускных патрубков	Размеры, мм					Комплектующая решетка			Масса, кг
с верхним присоединением	с нижним присоединением		D	D_0	L_1	L_2	H	размеры в свету, мм	число на 1 выпускной патрубок	число на 1 воздухораспределитель	
НРВ1В	НРВ1Н		280	170	281	—	300	100 × 200	2	4	11,7
НРВ2В	НРВ2Н	2 (рис. III.4, верхний)	355	215	336	—	478	200 × 400	1	2	15,23
НРВ3В	НРВ3Н		630	380	506	—	478	200 × 400	2	4	26,95
НРВ4В	НРВ4Н		710	450	536	—	678	200 × 600	2	4	52,8
НРВ5В	НРВ5Н		900	540	786	—	685	200 × 600	3	6	88,0
НРВ6В	НРВ6Н		1250	750	1006	—	689	200 × 600	4	8	126,0
НРВ7В	НРВ7Н	4 (рис. III.4, нижний)	400	240	—	682	278	100 × 200	2	8	20,0
НРВ8В	НРВ8Н		500	300	—	812	478	200 × 400	1	4	27,9
НРВ9В	НРВ9Н		710	425	—	1072	478	200 × 400	2	8	57,9
НРВ10В	НРВ10Н		1000	600	—	1372	685	200 × 600	2	8	93,0
НРВ11В	НРВ11Н		1250	750	—	1922	689	200 × 600	3	12	154,3
НРВ12В	НРВ12Н		1400	840	—	2172	689	200 × 600	4	16	209,4

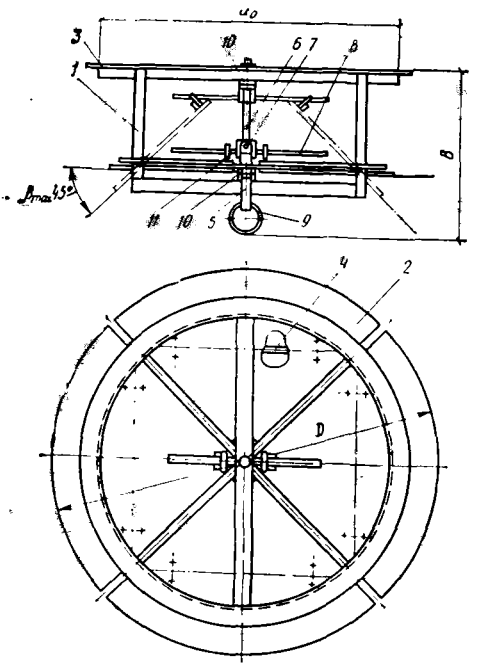


Рис. III.5. Воздухораспределитель ВР

III.4. Воздухораспределители для подачи воздуха веерными, коническими и компактными струями сверху — вниз

Эти воздухораспределители обеспечивают, как правило, наибольшую равномерность распределения параметров воздуха по площади рабочей зоны по сравнению с другими воздухораздающими устройствами.

Наиболее эффективными воздухораспределителями для подачи воздуха в верхнюю зону помещений системами вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления являются воздухораспределители регулируемые типа ВР (серия 5.904-21) и ВДШ$_п$ (серия 4.904-29).

Воздухораспределитель (ВР) является воздухораздающим устройством плафонного типа и предназначен для выпуска воздуха в верхнюю зону помещений системами вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления. Воздухораспределитель (рис. III.5) состоит из каркаса *1*, поворотных заслонок *2* и механизма поворота. Каркас имеет присоединительный фланец *3*, опоры *5* и оси *4* для поворота заслонок *2*. Механизм поворота заслонок состоит из винта *6*, гайки крестовины *7*, стрежней *8* и кольца *9*. Для ограничения поворота заслонок установлены гайки-упоры *10*. Поворот заслонок производится при вращении винта благодаря перемещению стержней, входящих в панели *11*. Регулирование направления струи на теплый и холодный периоды года производится в пределах 45° по установленным и закрепленным при первичной наладке упора гайкам *10*.

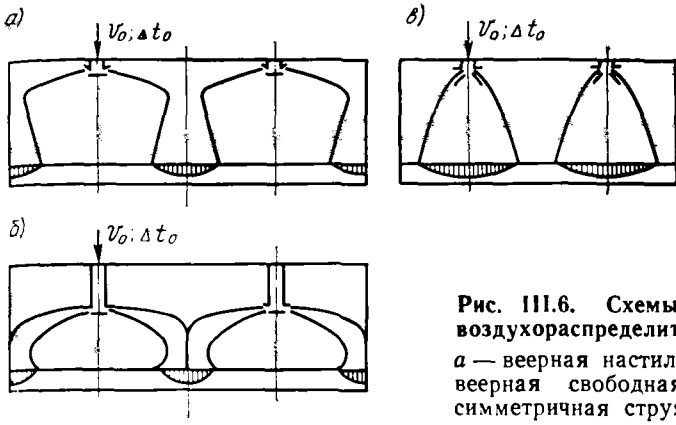


Рис. III.6. Схемы подачи воздуха воздухораспределителем

а — веерная настилающая струя; *б* — веерная свободная струя; *в* — осесимметричная струя

Для обслуживания воздухораспределителя с пола помещения предусмотрена специальная штанга с крюком. Крюком штанга навешивается на кольцо. Вращением штанги производится поворот заслонок. Таким устройством производится регулирование с пола угла наклона заслонов воздухораспределителя, установленного на высоте до 10 м.

Разработанный ряд воздухораспределителей обеспечивает подачу воздуха в количестве от 700 до 66 500 м³/ч. Рекомендуемая высота установки воздухораспределителей ВР — 3 м и более.

В зависимости от угла наклона регулируемых заслонок воздухораспределителя приточный воздух может раздаваться веерными и осесимметричными струями. При установке воздухораспределителя на высоте $h \geqslant 0{,}85\ H_{пом}$ создаются условия для настилания веерной струи на перекрытие.

Рабочие чертежи ВР разработаны шести типоразмеров. Обозначение воздухораспределителей и их основные параметры приведены в табл. III. 4.

Таблица III.4

Типоразмер	Количество подаваемого воздуха, м³/ч	d_0, мм	Расчетная площадь, м²	D, мм	B_1, мм	Масса, кг
ВР2,5	700— 2120	250	0,049	325	202	2,33
ВР3	1120— 3360	315	0,078	410	217,5	3,9
ВР5	2800— 8500	500	0,196	650	292,5	8,7
ВР7	5700—17 100	710	0,396	920	416,5	16,5
ВР10	11 300—34 000	1000	0,785	1300	515,5	36,7
ВР14	22 200—66 500	1400	1,54	1820	696,5	59,8

Изменение угла наклона заслонок позволяет изменять вид приточной струи (от веерной до смыкающейся осесимметричной), вследствие чего возможно сезонное регулирование направления струи и ее параметров в месте внедрения в рабочую зону.

Схемы подачи воздуха воздухораспределителем ВР показаны на рис. III.6. Выбор способа подачи зависит от назначения поме-

щения, архитектурно-планировочных решений, расположения оборудования и постоянных рабочих мест, выбранной схемы организации воздухообмена.

Изменение характеристик и направления приточной струи в широком диапазоне позволяет применять воздухораспределитель ВР в системах, совмещающих функции вентиляции и воздушного отопления. При установке воздухораспределителя по схемам *а* и *б* воздухораспределитель должен комплектоваться регулятором расхода и равномерности, по схеме *в* — диафрагмами либо дроссель-клапанами.

Воздухораспределители двухструйные шестидиффузорные типа ВДШп предназначены для подачи приточного воздуха в верхнюю зону помещения. Они устанавливаются в производственных и административно-бытовых помещениях, к которым предъявляются повышенные эстетические требования. Разработано шесть размеров воздухораспределителей. При проектировании подбор воздухораспределителей следует производить в соответствии с «Инструкцией по выбору и расчету систем воздухораспределения» серии АЗ-669.

III.5. Воздухораспределители для подачи воздуха непосредственно в рабочую зону

Выпуск воздуха в пределах рабочей зоны регламентирован нормами проектирования и обеспечивает активное движение струй основного потока воздуха вблизи отверстий воздухораспределителей. При этом может создаваться значительная неравномерность распределения параметров воздуха по площади вентилируемого помещения. Коэффициент воздухообмена при таком способе распределения воздуха, как правило, наиболее высокий. Наиболее эффективными воздухораспределителями при таком способе распределения воздуха являются воздухораспределители типа ВЭПш (серия 1.494-38). Как показали испытания, эти воздухораспределители обеспечивают нормируемые параметры воздушной среды в рабочей зоне в соответствии с требованиями норм проектирования и могут быть установлены в помещениях с производствами любой категории взрывной и пожарной опасности.

Воздухораспределитель состоит из воздухораздающей панели и короба. Во всех воздухораспределителях применена цельноштампованная панель из листовой стали толщиной 1 мм; лицевая ее поверхность гладкая, все выштамповки обращены внутрь воздухораспределителя. Панели имеют по двум сторонам отбортовку для соединения между собой или с коробом. Основная конструкция воздухораспределителей ВЭПш 11Гб и ВЭПш 11Гв выполняется из листовой стали толщиной 1 мм. Панель к стенкам короба присоединяется с помощью защелочного шва, а к фланцу и дну — на сварке.

Часть воздухораспределителей имеет разъемную конструкцию. Панель к коробу крепится с помощью специальных захватов. Ко-

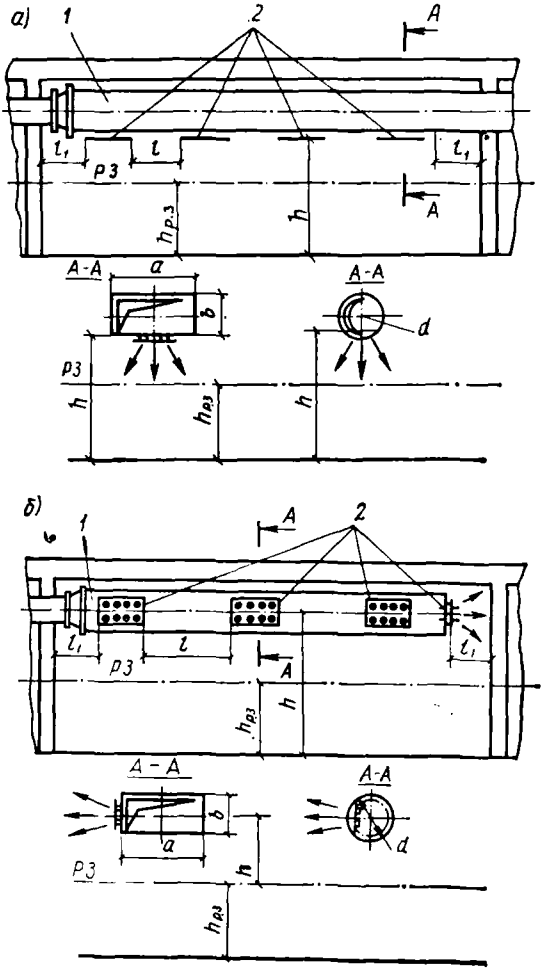


Рис. III.7. Схемы установки панелей на воздуховодах прямоугольного (*а*) и круглого (*б*) сечения

роб представляет собой сварную конструкцию из унифицированных элементов, гнутых из стального листа толщиной 1,4 мм. Эти воздухораспределители с открывающимися панелями устанавливаются в исключительных случаях, когда необходимо открытие панели для чистки воздухораспределителя.

Напольные воздухораспределители при подаче воздуха на уровне рабочей зоны устанавливаются на подставках высотой 1—2 м. Воздухораспределители потолочные крепятся к стальным конструкциям аналогично металлическим неизолированным воздуховодам.

Для установки панелей в коробах, выполненных в строительных конструкциях и в металлических воздуховодах прямоугольного сечения, предусмотрены воздухораздающие панели П-ВЭПш 10У и П-ВЭПш 11У. У этих панелей боковые кромки не имеют отбортовки. Панели могут крепиться к воздуховодам или закладным

элементам сваркой, самонарезными винтами, устанавливаемым с шагом 100 мм, и другими способами. Размер проема для установки одиночной панели П-ВЭПш 10—485 × 500 мм, панели П-ВЭПш 11—485 × 990 мм.

Малогабаритные эжекционные панели штампованные типа МЭПш предназначены для подачи воздуха системами вентиляции воздушного отопления и кондиционирования воздуха в рабочую зону производственных и лабораторных помещений небольшой высоты и больших кратностей воздухообмена как с избытками, так и без избытков явной теплоты с производствами любой категории взрывной и пожарной опасности. Размерный ряд панелей МЭПш по расходу воздуха дополняет размерный ряд панелей ВЭПш и обеспечивает подачу воздуха в объемах 160—1200 м³/ч.

Схемы установки панелей на воздуховодах прямоугольного и круглого сечения показаны на рис. III.7, *а, б*. Установочные размеры приведены в табл. III.5.

Таблица III.5

Обозначение	d, мм	d или b, мм	h, м		l, м	l_1, м
			рис. III.7, *а*	рис. 7, *б*		
МЭПш1	$\geqslant 400$	$\geqslant 200$	$\geqslant 2{,}5$ $\leqslant 4{,}0$	$\geqslant 2+\frac{0{,}3}{V_н}$ $\leqslant 4{,}0$	$\geqslant 1{,}2$	$\geqslant 0{,}6$
МЭПш2	$\geqslant 630$	$\geqslant 300$	$\geqslant 2{,}5$ $\leqslant 4{,}0$	$\geqslant 2+\frac{0{,}3}{V_н}$ $\leqslant 0{,}4$	$\geqslant 1{,}7$	$\geqslant 0{,}85$

Малогабаритная эжекционная панель штампованная типа МЭПш представляет собой стальной лист с выштампованными в нем закручивателями. Разработаны панели двух размеров: МЭПш1 — с закручивателями в один ряд и МЭПш2 — в два ряда. К воздуховоду панели крепятся самонарезными винтами или заклепками.

III.6. Воздухораспределители для воздушного душирования

Воздушные души относятся к устройствам местной приточной вентиляции и применяются для создания нормального состояния воздушной среды на ограниченном участке рабочего помещения. Воздушные души, как правило, устанавливают на участках с длительным пребыванием рабочего.

Существуют различные конструкции воздушных душей. Установки, использующие наружный воздух, выполняются стационарными и от обычных приточных установок отличаются лишь тем, что в них для подачи воздуха применяют специальные воздухорас-

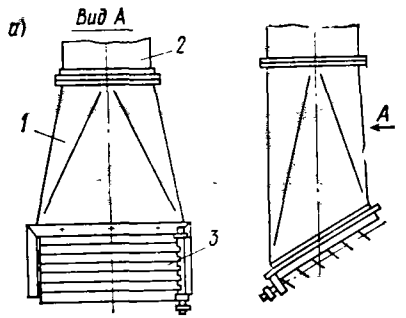


Рис. III.8. Схема душирующего патрубка ПДв(*а*) и ПДн(*б*)
1 — корпус; *2* — воздуховод; *3* — направляющая решетка

пределители, которые дают сосредоточенную струю, выходящую с заданной скоростью.

Наиболее распространенными воздухораспределителями для воздушного душирования являются патрубки душирующие с увлажнением воздуха и без его увлажнения типа ПД (серия 4.904-36). Эти воздухораспределители (рис. III.8) предназначены для душирования постоянных рабочих мест при подводе воздуха сверху и снизу и большой плотности расположения технологического оборудования.

На выходе воздухораспределитель снабжен решеткой из поворотных лопаток, с помощью которых меняется направление выходящей струи воздуха в диапазоне 4—65° к плоскости пола, а имеющимся подвижным фланцем можно изменить направление потока воздуха в вертикальной плоскости.

Размерный ряд воздухораспределителей ПД обеспечивает расход воздуха от 500 до 6500 м³/ч.

Для душирования постоянных рабочих мест при подводе воздуха сверху применяют патрубки поворотные душирующие (серия 4.904-22). Изменение направления воздушных струй в этом патрубке осуществляется с помощью поворотного патрубка. Патрубок состоит из трех звеньев: верхнего, среднего и нижнего (горизонтального). Последний снабжен шарниром, позволяющим поворачивать патрубок вокруг горизонтальной оси под требуемым углом.

Размерный ряд воздухораспределителей ППД обеспечивает расход воздуха от 360 до 4700 м³/ч.

III.7. Вентиляционные решетки

Для подачи воздуха в помещения вспомогательных и административно-общественных зданий системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха применяются регулируемые решетки типа РР (серия 1.494-8, рис. III.9). Решетки предназначены для регулирования расхода воздуха и изменения направления выхода воздушного потока в помещение. В металлический корпус *1* решетки вставлен параллельно длинной стороне ряд регулируемых вручную пластин *2*. Перпендикулярно к ним установлен второй ряд пластин *3*, регулируемых с помощью специального ключа. Решетки выпускаются пяти типоразмеров — от 100×200 до 200×600 мм.

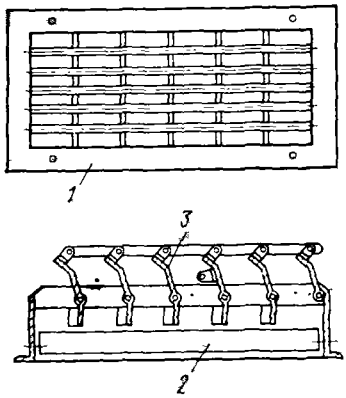


Рис. III.9. Схема приточной регулируемой решетки РР

При установке жалюзи параллельно друг другу воздушна струя расширяется под углом 20°, а при установке их веерооб разно угол расширения струи может быть доведен до 90°.

При расчете решеток РР используют определенные экспери ментально коэффициенты: $m=4{,}5$, $n=3{,}2$ и $\xi=2{,}7$.

ГЛАВА IV. ВЫТЯЖНЫЕ УСТРОЙСТВА

IV.1. Общие требования к размещению вытяжных устройств

При устройстве вытяжной вентиляции применяются вытяжны установки с механическим побуждением двух типов — с очистко воздуха перед его выбросом в атмосферу и без очистки. К пер вому типу относятся установки, обслуживающие местные отсосы а также системы аспирации и пневмотранспорта; ко второму — установки общеобменной и местной вентиляции, которые не нуж даются в очистных сооружениях.

При выборе схемы устройства вытяжной вентиляции опреде ляют:

тип местных отсосов, их конструкцию, а также объемы удаляе мого воздуха;

необходимость очистки воздуха, выбрасываемого в атмо сферу;

тип очистных устройств и места их размещения;

способы выброса воздуха в атмосферу общеобменными вы тяжными установками;

способы утилизации теплоты;

компоновку установок.

При необходимости уменьшения аэродинамического шума ус танавливают шумоглушители.

Если по характеру производства или по условиям безопасно сти труда перерыв в работе вытяжной вентиляции недопустим то для бесперебойного поддержания требуемых параметров воз духа должны предусматриваться резервные установки.

В одноэтажных производственных зданиях вытяжные устрой

ства рекомендуется размещать внутри помещений, на антресолях, этажерках, в межферменном пространстве и на кровлях; в многоэтажных зданиях с большим числом вентиляционных установок — в технических этажах.

Оборудование приточных и вытяжных установок не следует размещать в одной камере, однако, учитывая необходимость утилизации теплоты, выбрасываемой в атмосферу вытяжными установками для нагрева приточного воздуха, их взаимное расположение необходимо решать по возможности просто и экономично.

В производственных и общественных зданиях, где устанавливается вентиляционное оборудование для пяти и более систем, следует предусматривать помещения для ремонта оборудования. При компоновке вентиляционных установок надлежит руководствоваться приведенными ниже требованиями.

1. Радиус действия систем должен быть оптимальным как по технико-экономическим, так и по конструктивным соображениям и составлять 50—60 м.

2. Не допускается объединение вытяжных устройств, отсасывающих пыльный и влажный воздух, легко конденсирующиеся пары и пыль, ядовитые вещества и другие вредные выделения, при смешении которых создается ядовитая воспламеняющаяся или взрывоопасная механическая смесь.

3. Не разрешается объединять установки, удаляющие горючие вещества и газы.

4. Необходимо соблюдать требования противопожарной безопасности.

5. Требуется предусматривать лестницы, площадки, люки, двери для доступа к вентиляционному оборудованию.

6. Для замены громоздкого и тяжелого оборудования следует иметь подъемно-транспортные средства (блоки, краны, тали и др.).

7. Высота помещения, где размещается оборудование, должна быть не менее чем на 0,3 м больше высоты самого крупногабаритного оборудования, и составлять не менее 1,9 м; ширина проходов — не менее 0,7 м.

8. Над выбросными шахтами необходимо устанавливать зонты для предотвращения попадания в воздуховоды влаги во время дождя.

9. При большом числе вытяжных установок выбросные шахты отдельных установок могут объединяться в общую шахту с учетом требований пп. 2 и 3.

10. Вытяжная установка должна обеспечивать требования Санитарных норм по очистке воздуха, выбрасываемого в атмосферу.

IV.2. Классификация и характеристика местных отсосов

С целью уменьшения расхода вентиляционного воздуха и предотвращения распространения вредных выделений по объему помещения технологическое оборудование оснащается местными от-

сосами. Местные отсосы должны быть максимально приближены к источнику вредных выделений и по возможности отделять его от помещения. При установке местных отсосов необходимо обращать особое внимание на его положение относительно постоянных рабочих мест с тем, чтобы удаляемый загрязненный воздух не проходил через зону дыхания работающего. В качестве местных отсосов применяют вытяжные зонты, отсасывающие панели, бортовые отсосы, вытяжные шкафы, кожухи-воздухоприемники и аспирируемые укрытия.

По эффективности действия местные отсосы можно разделить на две группы. В первую группу (группа В) входят местные отсосы, обеспечивающие полное (100 %) улавливание выделяющихся производственных вредных веществ. Как правило, такие местные отсосы применяют для улавливания вредных веществ с ПДК $<1{,}0$ мг/м³. Местные отсосы второй группы (группа Б) применяют для улавливания вредных веществ с ПДК >1 мг/м³. При этом допускается неполное их улавливание, однако концентрация производственных вредных выделений в воздухе рабочей зоны должна быть не выше ПДК.

Конструкция местных отсосов не должна затруднять обслуживание оборудования и препятствовать выполнению производственных операций. Местные отсосы должны обеспечивать необходимый эффект улавливания вредных выделений при минимальном объеме удаляемого ими воздуха, что позволяет более экономично решать задачу очистки выбрасываемого в атмосферу воздуха. Уменьшение объемов воздуха, удаляемого местными отсосами от теплоотдающего оборудования, позволяет удалять ими воздух с более высокой температурой и эффективнее применять системы рекуперации теплоты.

В аспирационных установках эффективность действия отсосов определяется степенью герметичности укрытий и размерами рабочих проемов и смотровых окон.

Эффект действия местных отсосов, выполненных в виде зонтов, отсасывающих панелей и бортовых отсосов, характеризуется спектрами всасывания, которые проявляются на небольших расстояниях от всасывающего отверстия (плоскости) отсоса. Если потоки воздуха в зоне действия отсоса не способны увлечь и удалить ненаправленные вредные выделения, то местный отсос активируется приточной струей, которая, проходя через область вредных выделений, направляет их в заданную зону. Такие отсосы называют активированными.

Выбор типа местного отсоса и его расположения производится с учетом двух факторов — характеристики спектра всасывания (размеры, конфигурация, скорость движения воздуха) и естественного движения загрязненного воздуха, паров или газов при работе технологического оборудования. Различают два основных случая движения вредных выделений от оборудования, не создающего воздушных потоков вследствие своей работы (вращения и т. п.). Если плотность выделяющихся вредных веществ или их

смеси с воздухом меньше плотности воздуха помещения (например, нагретый воздух или смесь нагретого воздуха и газов), то поток вредных веществ будет стремиться подниматься вверх. Если плотность вредных веществ или их смеси с воздухом больше плотности воздуха помещения, то поток вредных выделений будет стремиться падать вниз. В вентилируемых помещениях всегда наблюдаются воздушные потоки, образовавшиеся вследствие подачи или естественного поступления приточного воздуха, разности температур отдельных поверхностей, работы перемещающихся или вращающихся частей технологического оборудования и др. Эти явления должны также учитываться при выборе конструкций местных отсосов, мест их установки и характеристик их работы.

IV.3. Местная вентиляция при выделении теплоты и газов

Наиболее часто встречающимися вредными веществами, выделяющимися в воздух производственных помещений, являются влага и газы. Как правило, выделение газов и влаги сопровождается выделением теплоты. Например, теплота и газы выделяются в цехах предприятий химического производства, в термических, кузнечных, литейных и механических цехах, а теплота и влага — на других производствах, использующих в технологических аппаратах воду (при производстве текстиля и бумаги).

Наиболее распространенными и простыми местными отсосами, применяемыми в этих производствах, являются **вытяжные зонты,** устанавливаемые по ходу потоков загрязненного воздуха. С целью уменьшения объема отсасываемого воздуха и более полного удаления выделяющихся вредных веществ вытяжные зонты следует максимально возможно приближать к местам их выделения, а также применять различные конструктивные решения, ограничивающие распространение этих вредных веществ по объему помещения (козырьки, шторы, устройства для выравнивания поля скоростей во всасывающем отверстии зонта и др.) — рис. IV.1.

Равномерность поля скоростей во всасывающем отверстии зонта достигается при углах $\alpha \leqslant 60°$ (рис. IV.2). При углах α, больших 60°, поле скоростей становится неравномерным, например, при $\alpha = 90°$ отношение минимальной скорости к средней скорости в рабочем сечении зонта равно 0,85, а при $\alpha = 120°$ — 0,65. Поэтому, если высота зонта $h_к$ лимитирована, то приходится делать плоские зонты с несколькими вытяжными отверстиями (рис. IV.2, *г*). Такая конструкция даже при отсутствии стенок, условно на чертеже показанных пунктирными линиями, обеспечивает достаточно ровное поле скоростей по всему рабочему сечению зонта. Повышение эффективности действия зонта достигается при его установке у стены, в углу помещения, а также при применении постоянных или поднимающихся шторок (см. рис. IV.1).

Объем воздуха, отсасываемого зонтом для удаления выделяю-

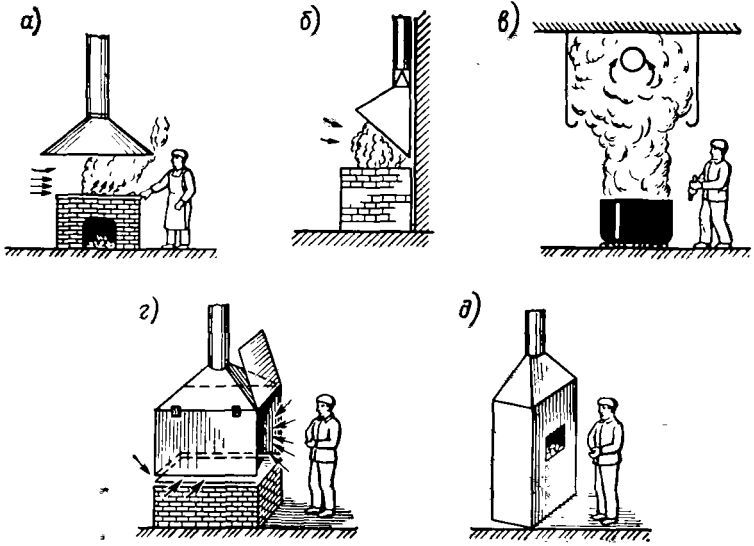


Рис. IV.1. Схемы установки зонтов

а — обычная; *б* — у стены; *в* — ёмкого зонта; *г* — с двусторонним укрытием; *д* — с полным укрытием

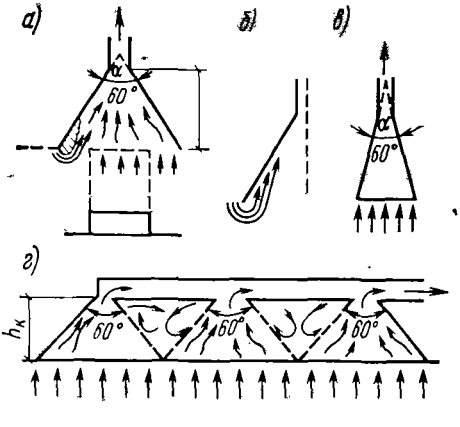


Рис. IV.2. Принципиальные решения зонтов

а — над источником тепла; *б* — зонт-козырек; *в* — с углом раскрытия $\alpha = 60°$; *г* — при ограниченной высоте зонта

щихся вредных веществ, наиболее целесообразно определять экспериментальным путем. В этом случае представляется возможным установить оптимальный (минимальный) объем удаляемого воздуха, при котором обеспечивается содержание вредных выделений в воздухе рабочей зоны, регламентированное требованиями санитарных норм. При проектировании объем вытяжки зонтов (рис. IV.3), в том числе и опытных, разрабатываемых в процессе наладочных работ, может определяться на основе имеющихся обобщающих методик расчета или по значениям средних скоростей воздуха v_0 в рабочем сечении зонта (табл. IV.1).

Расход воздуха через зонт $L_{м.о}$ можно вычислить по формуле

$$L_{м.о} = 3600Fv, \qquad (IV.1)$$

где F — расчетная площадь проема или рабочая площадь щелей, м²; v — расчетная скорость воздуха в проеме отсоса, м/с.

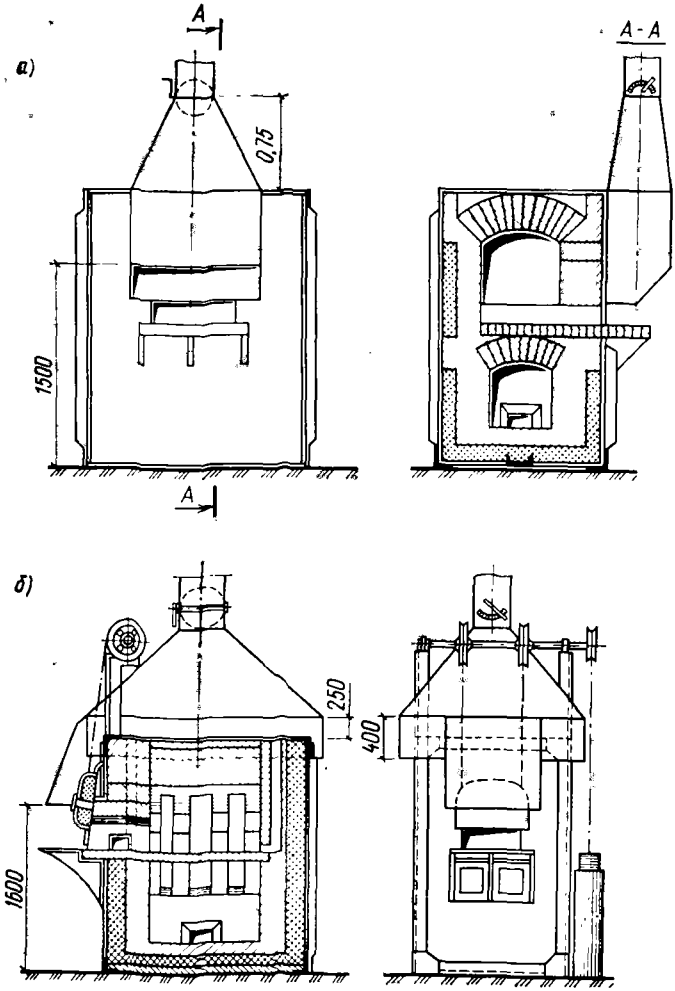


Рис. IV.3. Местные отсосы от печей

а — козырьки над загрузочным отверстием электропечи; *б* — **комбинированный** зонт печи, работающей на газовом и жидком топливе

При интенсивных источниках выделения теплоты либо теплоты и газов, когда образуются устойчивые конвективные потоки со скоростью по оси струи на уровне рабочего сечения зонта не менее 0,5 м/с, расход воздуха, удаляемого зонтом, может быть определен по следующим формулам для источников круглой или прямоугольной формы с соотношением сторон до 1 : 1,5:

$$L_з = L_к; \qquad \text{(IV.2)}$$

$$L_к = 125 F_з / F_н \sqrt[3]{Q_к z F_н}, \qquad \text{(IV.3)}$$

где $Q_к$ — часовое количество теплоты, выделяемое источником путем конвекции, Вт; $F_з$ — площадь зонта, м²; $F_н$ — площадь горизонтальной поверхности источника, м²; z — расстояние от нагретой поверхности до воздухоприемного сечения зонта, м; при $z < 2{,}8\sqrt{F_н}$ площадь сечения зонта $F_з$ принимается 1,5 $F_н$.

Таблица IV.1

Места установки зонта	Тип зонта	$v_в$, м/с
Газовые термические печи	Комбинированный зонт	0,8
Электропечи	Козырек над загрузочным отверстием	0,6
Места установки или хранения слабонагретого оборудования или изделий (при $t_{пов} - t_{окр} < 40$ °С)	Зонт	0,5
Литейные цехи, места выпуска металла и шлака из вагранок, места разливки металла		1,0
Индукционная печь для плавки стали		1,5

В случае когда зонт затрудняет периодическое обслуживание технологического оборудования, его устанавливают с поворотными или подъемными устройствами (рис. IV.4).

Вытяжные шкафы достаточно полно изолируют источники вредных выделений, так как в них имеются небольшие отверстия (рабочие проемы), соединяющие внутренний объем вытяжного шкафа или камеры с воздухом помещения. Принцип действия местных отсосов этого типа основан на создании равномерного спектра всасывания в рабочем проеме, обеспечивающего невыбивание вредных веществ, образующихся при технологическом процессе. Различают вытяжные шкафы с верхним (рис. IV.5, *а*) и нижним (рис. IV.5, *б*) удалением воздуха, а также комбинированные (рис. IV.5, *в*) с верхним и нижним удалением.

Воздухоприемник выполняют в виде круглого, квадратного или прямоугольного отверстия в одной из стенок шкафа, в виде щели по всей ширине шкафа или в виде улиткообразных воздухоприемных устройств.

Расход воздуха, м³/ч, удаляемого из шкафа при отсутствии в нем источников тепловыделений, определяют по формуле

$$L_x = 3600 v_0 F, \qquad (IV.4)$$

а при наличии источников тепловыделений — по формуле

$$L_т = 120 \sqrt[3]{QHF^2}, \qquad (IV.5)$$

где v_0 — средняя по сечению рабочего проема скорость всасывания (табл. IV.2); F — площадь рабочего проема, м²; Q — количество тепловыделений, Вт, в шкафу, идущее на нагрев воздуха в нем (около 50—70 % общей теплопроизводительности источника вредных выделений); H — высота рабочего проема, м.

Шкафы с верхним удалением воздуха применяют при выделениях легких газов и тепловыделениях; шкафы с нижним удале-

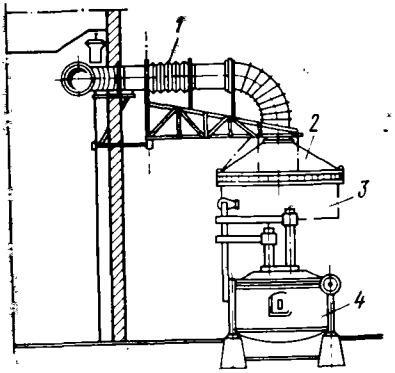


Рис. IV.4. Поворотный зонт над электроплавильной дуговой печью
1 — гибкий шланг; *2* — зонт; *3* — фартук из асбестового полотна; *4* — электропечь

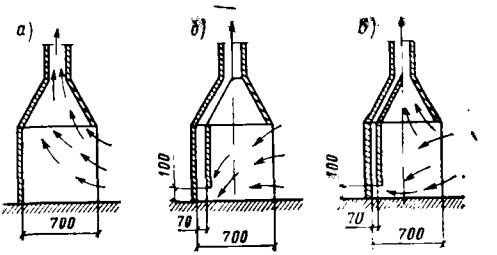


Рис. IV.5. Типы вытяжных шкафов
а — с верхним отсосом; *б* — с нижним отсосом; *в* — комбинированный (с нижним и верхним отсосом)

Таблица IV.2

Операции, выполняемые в шкафу	v_0, м/с
Лабораторные работы	0,3—0,5
Пайка и сварка мелких изделий	0,5—0,7
Работы с применением:	
соляной кислоты	0,5—0,7
азотной кислоты	0,7—1,0
керосина, бензина	0,5
хлорированных углеводородов	0,7
Электролитическое обезжиривание	0,3—0,5
Электролитическое кадмирование, меднение, серебрение, цинкование	1,0—1,5
Работы с выделением свинца и свинцовых соединений	1,5
Металлизация распылением	1,0—1,5
Работа с сыпучими материалами (развеска, расфасовка, просеивание и др.)	0,5—1,2
Ручная окраска или окраска изделий окунанием	0,5—0,7

нием воздуха — при выделениях пыли и тяжелых газов; шкафы с комбинированным удалением воздуха — при выделениях пылей, тяжелых газов и тепловыделениях. Из нижней зоны удаляют от $^1/_3$ до $^2/_3$ общего объема воздуха в зависимости от преобладания тех или иных вредных выделений. Лабораторные химические шкафы выполняют с комбинированным удалением воздуха.

В случае если площадь рабочего проема установить невозможно, то расход отсасываемого из шкафа воздуха принимают

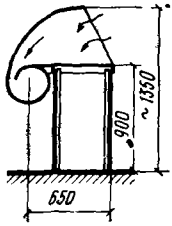


Рис. IV.6. Укрытие с отсосом-улиткой

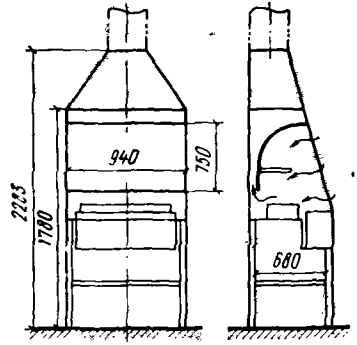


Рис. IV.7. Вытяжной шкаф для окраски окунанием

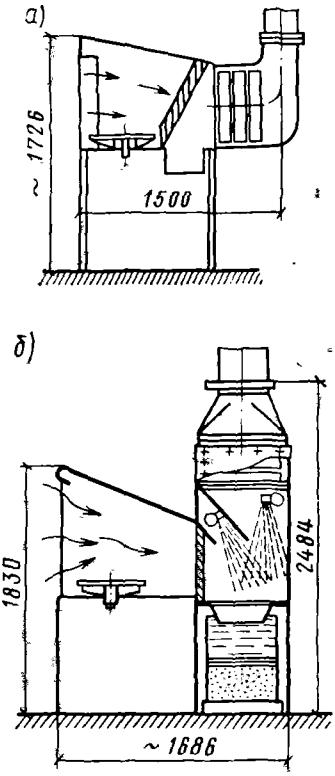


Рис. IV.8. Вентилируемая камера для пульверизационной окраски мелких изделий

а — с сухой очисткой удаляемого воздуха; *б* — с гидрофильтром; *в* — с нижним гидрофильтром

равным 1000 м³/ч на 1 м ширины рабочего проема — при работе с веществами 3-го и 4-го классов опасности и 2000 м³/ч — при работе с веществами 1-го и 2-го классов опасности. При выполнении работ на рабочем месте, имеющем значительную ширину (столы), применяют шкафы-укрытия с вентиляционными отсосами-улитками (рис. IV.6). Воздух удаляется через щель переменного сечения, которая обеспечивает его равномерное всасывание

в рабочий проем по длине укрытия. Ширина щели составляет 60—30 мм с уменьшением в сторону вытяжного воздуховода.

Вентилируемые камеры, как правило, применяют при пульверизационной окраске изделий. Для окраски мелких изделий и изделий среднего размера, когда рабочий находится вне камеры, применяют камеры, показанные на рис. IV.7—IV.9. Расчетные воздухообмены определяют по средней скорости воздуха в рабочем проеме камеры. Скорость воздуха в рабочем проеме при пневматическом распылении окрасочных материалов, содержащих ароматические углеводороды и свинцовые соединения, составляет 1,3 м/с, не содержащих ароматические углеводороды и свинцовые соединения, —1,0 м/с; при кистевой окраске и окраске безвоздушным распылением — 6,0 и 1,0 м/с соответственно.

Воздух, отсасываемый из камер при окраске распылением, очищают от аэрозоли краски в гидрофильтрах. Гидрофильтр с форсунками (см. рис. IV.8, *б, в*) состоит из канала, орошаемого водой, сепаратора для задержки капель воды и отстойной ванны для сбора воды и задержания краски.

Кроме гидрофильтров с форсунками, для камер окраски изделий средних размеров применяют пленочные гидрофильтры. В этом случае промывной канал состоит из нескольких (трех-четырех) ванн-лотков, в которые подается вода. Переливаясь из лотков, вода образует сплошную пленку, задерживающую аэрозоли краски. Камеры для ручной окраски изделий на конвейере выполняют обычно в виде проходного коридора с воздухоприемником, расположенным по всей длине одной из его сторон.

При применении автоматических линий окраски, в том числе и окраски способом электростатического распыления скорости воздуха в проемах должны составлять 0,5—0,7 м/с.

Отсасывающие панели (рис. IV.10) применяют, когда невозможно или нецелесообразно полное или частичное укрытие источников выделения вредных веществ. Отсасывающие панели следует максимально возможно приближать к источникам выделения теплоты и вредных веществ, а нижнюю кромку панели располагать на уровне источника. Расход воздуха, удаляемого панелью, зависит от расстояния панели до источника b, которое не должно быть более ширины источника B. Ширина панели определяется шириной источника и равна $A = 1{,}2a$ (см. рис. IV.10). Расход воздуха L, м³/ч, для панелей типа *I*, *II* и *III* равен:

$$L = cQ_к^{1/3}(H + B)^{5/3}, \qquad (IV.6)$$

где c — коэффициент, зависящий от конструкции панели и ее расположения относительно источника тепловыделений; $Q_к$ — конвективная составляющая источника тепловыделений, Вт; H — расстояние от верха плоскости до центра всасывающих отверстий панели, м; B — ширина источника, м.

Коэффициент c принимают равным для панелей:

I типа

$$c = 228[l/(H+B)]^{2/3}; \qquad (IV.7)$$

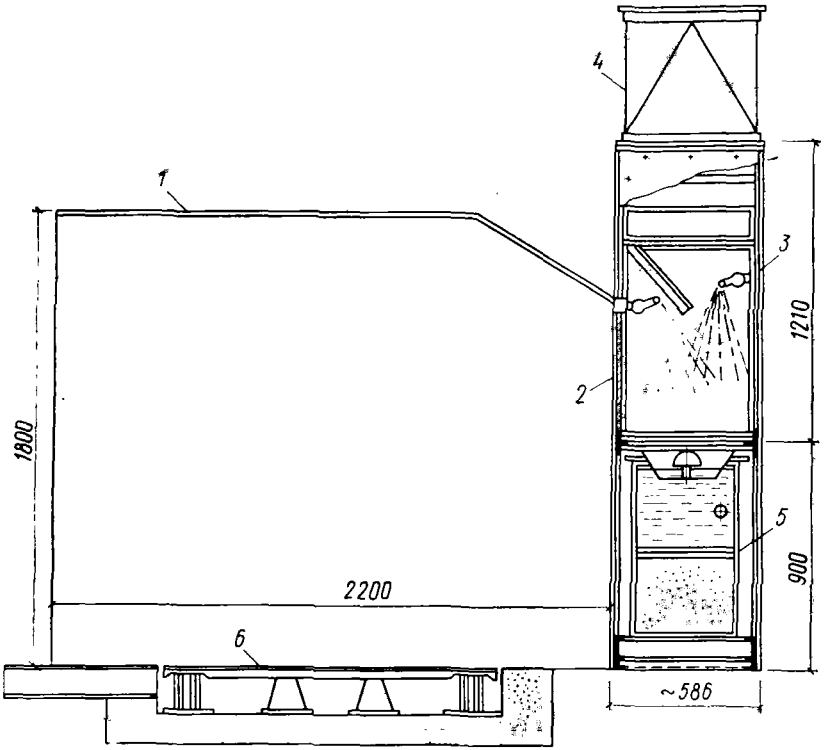


Рис. IV.9. Вентилируемая камера для пульверизационной окраски изделий средних размеров с гидрофильтром

1 — ограждение камеры; *2* — воздухозаборное отверстие с жалюзями; *3* — гидрофильтр; *4* — вытяжной воздуховод; *5* — бак-отстойник; *6* — поворотный круг

II типа

$$c = 228m[l/(H+B)]^{1/2}; \qquad \text{(IV.8)}$$

III типа

$$c = \frac{1170F_и}{F_р}\left(\frac{F_и}{F_р} - 1\right) + 650, \qquad \text{(IV.9)}$$

где l — максимальное удаление источника от панели (см. рис. 4.4), м; $F_и$, $F_р$ — площади соответственно детали и решетки, м²; m — коэффициент, зависящий от относительного расстояния между источником и экраном:

b_1/b	0,1	0,3	1	> 1
m	1	1,5	1,8	2

Панели *III* типа применяют для удаления теплового потока, содержащего не только газы, но и крупнодисперсную пыль. Объем воздуха, удаляемого вниз, составляет 30—40 % общего расхода воздуха, определенного по формуле (4.6).

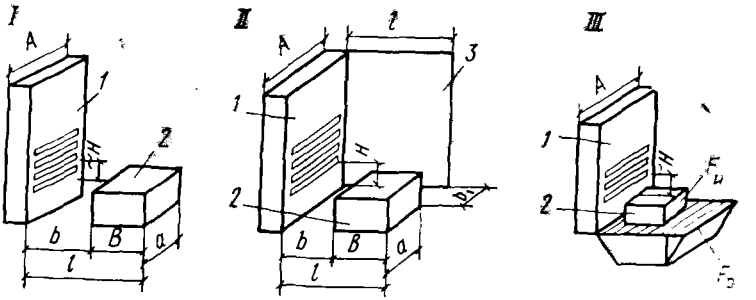


Рис. IV.10. Типы отсасывающих панелей

I — односторонние; II — с экраном; III — комбинированные с отсосом в сторону и вниз; *1* — панель; *2* — источник тепловыделений (теплогазовыделений); *3* — экран

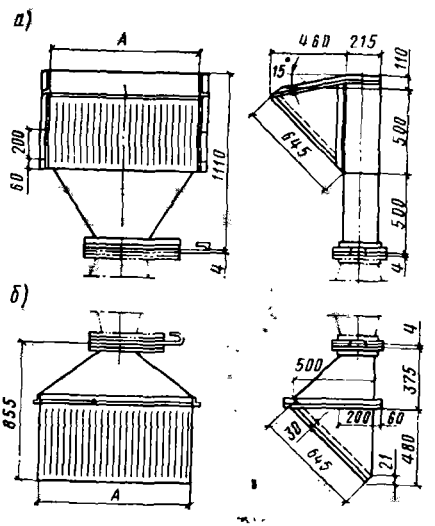


Рис. IV.11. Односторонние вытяжные панели с нижним — *а* и верхним — *б* отсосами

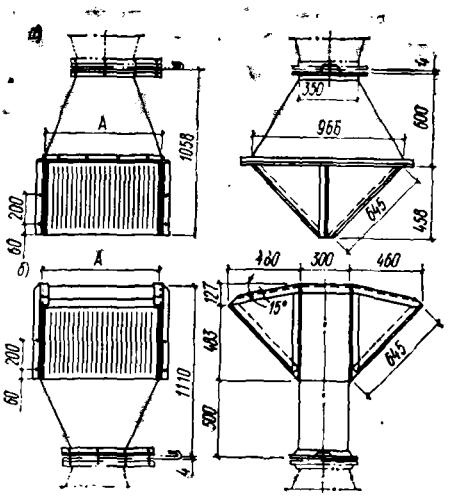


Рис. IV.12. Двусторонние вытяжные панели с верхним — *а* и нижним — *б* отсосами

Панели равномерного всасывания, как правило, устанавливаемые наклонно, применяют при сварочных и других работах, когда нет строго фиксированных точек совместного выделения теплоты, газа или аэрозолей, например при сварке. На рис. IV.11 и IV.12 показаны различные типы и конструкции панелей, для которых объем удаляемого воздуха определяют по формуле

$$L = F_ж 3600 v_ж, \qquad (IV.10)$$

где $F_ж$ — площадь живого сечения панели, м²; $v_ж$ — скорость воздуха в живом сечении, м/с.

В табл. IV.3 приведены данные о наиболее часто применяемых панелях.

Ширина панели A, м (см. рис. IV.11 и IV.12)	$F_ж$, м²	Объем воздуха, м³/ч, удаляемого через панель при $V_ж$, м/с								
		2	2,5	3,0	3,5	4	5	6	7	8
0,30	0,042	302	378	453	529	604	756	907	1058	1209
0,35	0,050	360	450	540	630	720	900	1080	1260	1440
0,45	0,064	460	576	690	805	920	1150	1380	1610	1840
0,60	0,086	620	775	930	1080	1240	1550	1860	2170	2430
0,75	0,110	790	990	1185	1385	1580	1980	2370	2770	3160
0,90	0,130	935	1170	1400	1640	1870	2340	2810	3270	3780

Примечание. В таблице приведены объемы воздуха, удаляемого через одностороннюю панель или через одну сторону двухсторонней панели.

IV.4. Отсосы, применяемые для удаления вредных паров и аэрозолей

В промышленности широко применяются технологические процессы, происходящие в ваннах с различными растворами. Наибольшее распространение получили гальванические ванны, в работе которых в воздушную среду помещений выделяются газы, пары и аэрозоли растворов. Например, при электролитическом обезжиривании в воздух выделяются аэрозоли водных растворов щелочей — едкого натра, фосфорно-кислого и углекислого натрия; при применении бензина или керосина — их пары, а в случае использования серной, соляной и азотной кислот — туман кислотных растворов, сернистый ангидрид и окислы азота. Интенсивность выделения вредных веществ в воздушную среду помещений определяется температурой жидкости в ванне, концентрацией растворов и плотностью тока.

Наиболее эффективным методом предотвращения выделений в помещение вредных веществ от ванн является полное укрытие их с устройством открывающихся технологических проемов. Целесообразен также метод закрытия поверхности жидкости в ваннах плавающими телами, выполненными из нерастворяемых материалов, и пенными покрытиями. При применении этого метода выделение вредных веществ в воздух помещений резко сокращается. Однако вследствие особенностей технологических процессов эти методы пока не получили большого распространения. Поэтому в ваннах в качестве местных отсосов широко используются бортовые отсосы. Конструктивно бортовые отсосы выполняют в виде вытяжных устройств с щелевидными отверстиями, расположенными с одной или двух наиболее длинных сторон на некотором расстоянии над уровнем жидкости в ванне (рис. IV.13).

Эффект работы бортовых отсосов основан на создании над поверхностью испарения спектра всасывания с таким полем скоростей, которое не позволяло бы выделяющимся вредным веществам попасть в воздух помещения. Вследствие быстрого затухания скоростей у всасывающих отверстий бортовых отсосов требуются

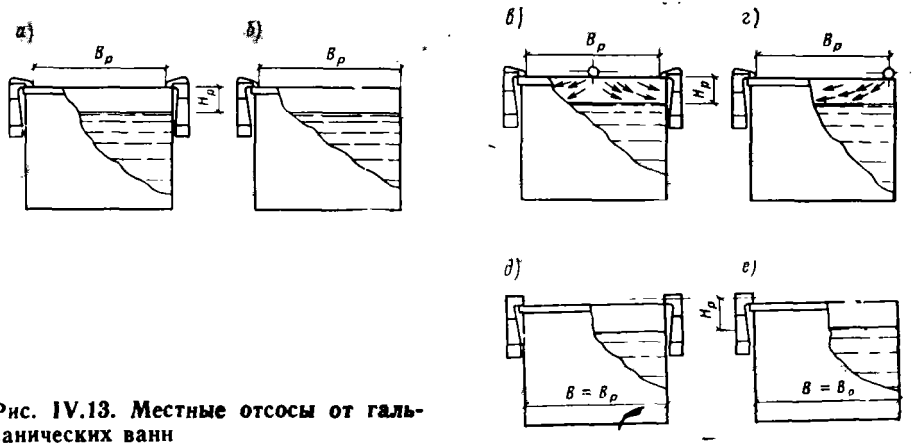


Рис. IV.13. Местные отсосы от гальванических ванн

значительные объемы вытяжки. Поэтому бортовые отсосы целесообразно применять для ванн шириной до 1200 мм. В гальваническом и травильном отделениях, как правило, рекомендуется применять местные отсосы со щелью всасывания в горизонтальной плоскости — опрокинутые (рис. IV.13, *а, б*). Эффективность таких отсосов по сравнению с обычными отсосами со щелью всасывания в вертикальной плоскости (рис. IV.13, *д, е*) значительно выше. Обычные бортовые отсосы следует применять, когда из-за технологических процессов или конструкций ванн нельзя применять опрокинутые отсосы.

Ванны шириной менее 600 мм следует оснащать однобортовыми опрокинутыми отсосами без передувки.

Количество воздуха L, м³/ч, удаляемого через местные отсосы, следует определять по формуле

$$L = L_0 K_{\Delta t} K_т K_1 K_2 K_3 K_4, \qquad (IV.11)$$

где L_0 — количество удаляемого воздуха, м³/ч, при значениях $K_{\Delta t}$, $K_т$, K_1, K_2, K_3 и K_4, равных 1; $K_{\Delta t}$ — коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении; $K_т$ — коэффициент, учитывающий токсичность и интенсивность выделения вредных веществ; K_1 — коэффициент, учитывающий тип отсоса; K_2 — коэффициент, учитывающий наличие воздушного перемешивания; K_3 и K_4 — коэффициенты, учитывающие укрытие зеркала раствора соответственно плавающими телами (шариками, линзами и т. п.) и пенным слоем (путем введения добавок поверхностно-активных веществ).

Для отсосов без передувки со щелью всасывания в горизонтальной или вертикальной плоскости (см. рис. IV.13, *а, б, д, е*)

$$L_0 = 1400\left(0{,}53\frac{B_р l}{B_р + l} + H_р\right)^{1{,}3} B_р l, \qquad (IV.12)$$

где $B_р$ — расчетная ширина ванны, м, принимаемая равной: для двухбортовых отсосов — расстоянию между кромками отсосов, для однобортовых — между кромкой отсоса и бортом или осью воздухоподающей трубы (отсосы с передувкой); l — длина ванны, м; $H_р$ — расчетное расстояние от зеркала раствора до борта ваины или оси щели, м.

Таблица IV.4

Технологический процесс гальванопокрытий	Определяющее вредное вещество	z_y, мг/см²	$K_т$
Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих хромовую кислоту концентрации 150—300 г/л, при силе тока 1—1000 А (хромирование, анодное декапирование, снятие меди и др.)	Хромовый ангидрид	10	2
То же, в растворах, содержащих хромовую кислоту концентрации 30—60 г/л (электрополировка алюминия, стали и др.)	То же	2	1,6
То же, в растворах, содержащих хромовую кислоту концентрации 30—100 г/л, при силе тока 1—500 А, а также химическое оксидирование алюминия и магния (анодирование алюминия, магниевых сплавов и др.)	»	1	1,25
Химическая обработка стали в растворах хромовой кислоты и ее солей при $t > 50$ °С (пассивация, травление, снятие оксидной плеики, наполнение в хромпике и др.)	»	$5{,}5 \cdot 10^{-3}$	1
Химическая обработка металлов в растворах щелочи (оксидирование стали, химическая полировка алюминия, рыхление окалины на титане, травление алюминия, магния и их сплавов и др.) при температуре раствора, °С:			
выше 100	Щелочь	55	1,25
ниже 100	»	55	1,6
Электрохимическая обработка в растворах щелочи (анодное снятие шлама, обезжиривание, лужение, снятие олова, оксидирование меди, снятие хрома и др.)	»	11	1,6
Кадмирование, серебрение, золочение и электродекапироваиие в цианистых растворах	Цианистый водород	5,5	2
Цинкование, меднение, латунирование, химическое декапирование и амальгамирование в цианистых растворах	То же	1,5	1,6
Химическая обработка металлов в растворах, содержащих фтористоводородную кислоту и ее соли	Фтористый водород	20	1,6
Химическая обработка металлов в концентрированных холодных и разбавленных нагретых растворах, содержащих соляную кислоту (травление, снятие шлама и др.)	Хлористый водород	80	1,25
Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих серную кислоту концентрации 150—350 г/л, а также химическая обработка в коицентрированных холодных и нагретых разбавленных растворах (аиодирование, электрополирование, травление, снятие никеля, серебра, гидридная обработка титана и др.)	Серная кислота	7	1,6

Продолжение табл. IV.4

Технологический процесс гальванопокрытий	Определяющее вредное вещество	Z_y, мг/см³	$K_т$
Химическая обработка металлов в концентрированных нагретых и электрохимическая обработка в концентрированных холодных растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (химическая полировка алюминия, электрополировка стали, меди и др.)	Фосфорная кислота	5	1,6
Хнмическая обработка металлов в концентрированных холодных и разбавленных нагретых растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (фосфатирование и др.)	То же	$6 \cdot 10^{-1}$	1,25
Никелнрование в хлоридных растворах при плотности тока 1—3 А/дм²	Растворимые соли никеля	$1{,}5 \cdot 10^{-1}$	2,0
Нникелирование в сульфатных растворах при плотности тока 1—3 А/дм²	То же	$3 \cdot 10^{-2}$	1,0
Меднение в этилендиаминовом электролите	Этилендиамин	0	1,0
Кадмирование и лужение в кислых электролнтах с добавкой фенола	Фенол	0	1,0
Крашение в анилиновом красителе	Анилин	0	1,0
Промывка в горячей воде при $t > 50$ °С	Пары воды	—	0,5
Безвредные технологические процессы при наличии неприятных запахов, например аммиака, клея и др.	—	—	0,5

Для отсосов с передувкой со щелью всасывания в горизонтальной плоскости (см. рис. IV.13, *в, г*)

$$L_0 = 1200 B_p^{3/2} l. \qquad \text{(IV.13}$$

Количество воздуха для передувки $L_п$, м³/ч, следует определять по формуле

$$L_п = 60 B_p l K_{\Delta t}. \qquad \text{(IV.14}$$

Коэффициент $K_{\Delta t}$ равен:
для отсосов без передувки

$$K_{\Delta t} = 1 + 0{,}0157 \Delta t; \qquad \text{(IV.15}$$

для отсосов с передувкой

$$K_{\Delta t} = 1 + 0{,}0{\,}\Delta t. \qquad \text{(IV.16}$$

Значения коэффициента $K_т$ для отсосов без передувки и удельное количество выделяющихся вредных веществ Z_y приведены в табл. IV.4. При применении отсосов с передувкой для всех технологических процессов следует принимать $K_т = 1$. Значения L_0 и $L_п$ для нормализованных ванн, оснащенных местными отсосами новой конструкции, приведены в табл. IV.5, коэффициентов K_1, K_2, K_3 и K_4 — в табл. IV.6.

Таблица IV.5

Размер ванн в плане $B \times l$, мм	L_o, м³/ч, для отсоса			$L_п$, м³/ч
	без передувки двухбортового	с передувкой		
		двухбортового	однобортового	
450×800	260	—	200	20
450×1100	360	—	275	30
450×1500	500	—	375	40
450×2200	730	—	550	55
500×1100	420	—	335	30
600×1500	580	—	455	45
550×600	250	—	280	20
600×1100	540	—	470	40
600×1500	740	—	640	50
600×2200	1100	—	940	75
700×800	480	—	450	35
700×1100	660	—	615	45
700×1500	910	—	840	60
700×2200	1350		1230	90
800×360	380	—	395	30
800×760	530	—	535	35
1000×1500	1450	1090	1540	90
1000×2200	2180	1600	2260	130
1100×560	550	475	670	40
1100×760	780	645	910	50
1200×1100	1320	1080	1530	80
1200×1500	1860	1475	2090	105
1200×2200	2760	2155	3060	155

Примечание. Приведенные значения L_o и $L_п$ рассчитаны для $B_р = (B - 0{,}1)$ м (где B — ширина ванны, м), $H_р = 0{,}15$ м и $K_{\Delta t} = 1$.

Таблица IV.6

Коэффициент	Значения коэффициентов для отсоса				Коэффициент	Значения коэффициентов для отсоса			
	без передувки		с передувкой			без передувки		с передувкой	
	однобортовой	двухбортовой	однобортовой	двухбортовой		однобортовой	двухбортовой	однобортовой	двухбортовой
K_1	1,8	1	1	0,7	K_3	0,75	0,75	1	1
K_2	1,2	1,2	1	1	K_4	0,5	0,5	1	1

IV.5. Локальная вентиляция на участках пылевыделений

Многие технологические процессы сопровождаются выделением пыли. Для локализации пылевыделения используют местные отсосы в основном трех типов.

1. Кожухи-воздухоприемники, применяемые у сухих вращающихся абразивных и шлифовальных кругов.

2. Местные отсосы различных типов (панели, бортовые отсосы со щелями равномерного всасывания и др.), применяемые при различных процессах, связанных с образованием пыли при обработке крупногабаритных деталей (например, выбивка форм в литейном производстве), или при отсосе пыли от дробилок и другого пылящего оборудования.

3. Укрытия технологических линий, связанных с переработкой или транспортированием сыпучих материалов.

Кожухи-воздухоприемники, устраиваемые для защиты от травм и предотвращения попадания пыли в воздух помещения, выполняют из листовой стали толщиной 2—3,5 мм с открытым рабочим сечением (рис. IV.14—IV.16).

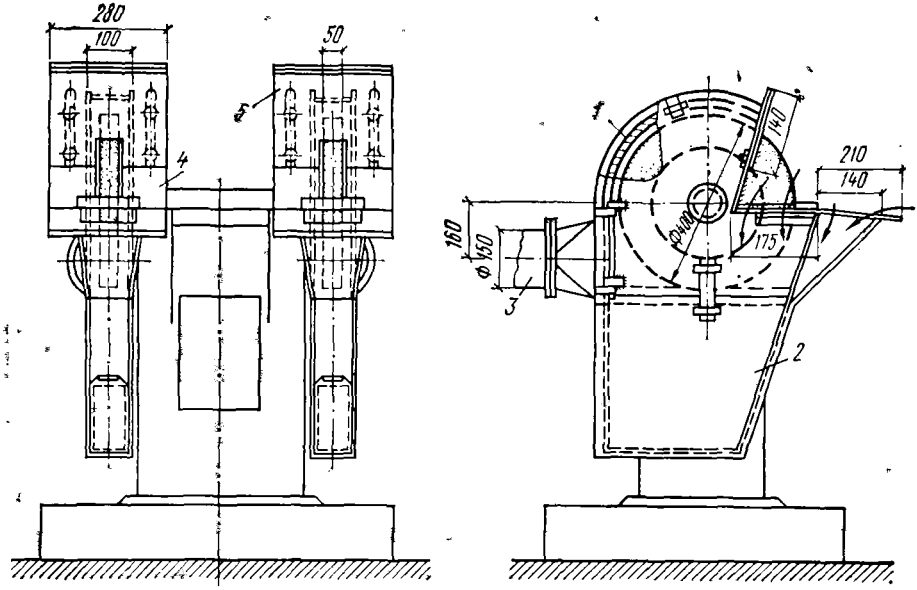


Рис. IV.14. Защитно-обеспыливающий кожух для заточных станков
1 — кожух пылеприемника; *2* — пылеосадочный бункер; *3* — отсасывающий патрубок; *4* — неподвижный щиток; *5* — регулируемый щиток

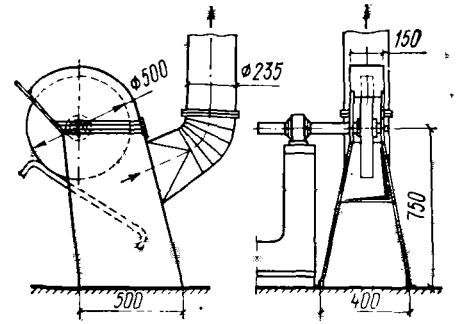


Рис. IV.15. Обеспыливающий кожух для матерчатого полировального круга диаметром до 500 мм

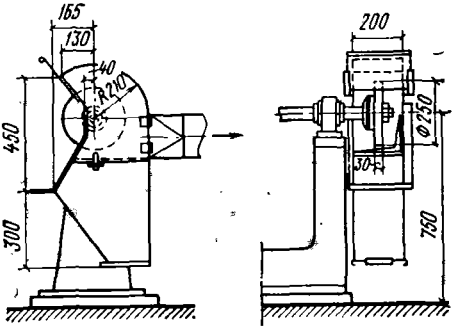


Рис. IV.16. Обеспыливающий кожух для полировального войлочного круга диаметром до 250 мм

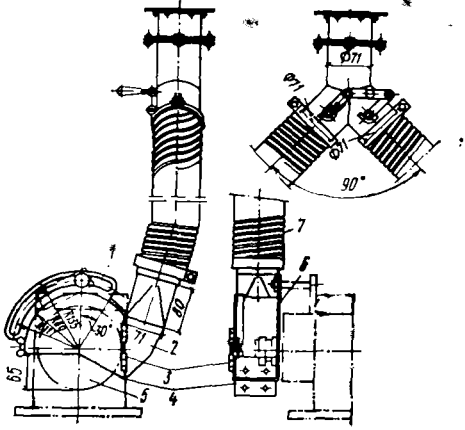


Рис. IV.17. Защитно-обеспыливающий кожух спаренного универсально-заточного станка

1 — дуговой вырез; *2* — отсасывающий патрубок; *3* — петли; *4* — фартук; *5* — боковая крышка кожуха; *6* — задняя стенка кожуха; *7* — гибкий шланг

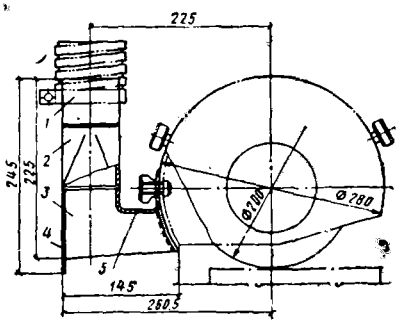


Рис. IV.18. Защитно-обеспыливающий кожух плоскошлифовального станка

1 — отсасывающий патрубок; *2* — переходный патрубок; *3* — корпус отсоса; *4* — нижний фартук; *5* — корпус задней стенки

Расход воздуха L, м³/ч, отсасываемого из кожуха, определяют по формулам:

для заточных и шлифовальных образивных кругов:

$$L=2d; \qquad \text{(IV.17)}$$

для качающихся шлифовальных кругов

$$L=3d; \qquad \text{(IV.17а)}$$

для полировальных станков с войлочными кругами

$$L=4d; \qquad \text{(IV.18)}$$

для полировальных станков с металлическими кругами

$$L=6d; \qquad \text{(IV.19)}$$

где d — диаметр круга, мм.

Конструкции защитно-обеспыливающих кожухов показаны на рис. IV.17 и IV.18. При значительных скоростях вращения плоскошлифовальных станков (около 3000 об/мин) скорость движения воздуха в рабочем проеме (отверстии) защитно-обеспыливающего кожуха должна составлять 10—12 м/с, а универсальных заточных станков — 15—20 м/с.

Напольные вытяжные решетки и решетки, оборудованные двусторонними угловыми бортовыми отсосами, а также верхнебоковыми отсосами (рис. IV.19 и IV.20), применяют при обработке крупногабаритных изделий, обрубке литья, сварке и др. Количе-

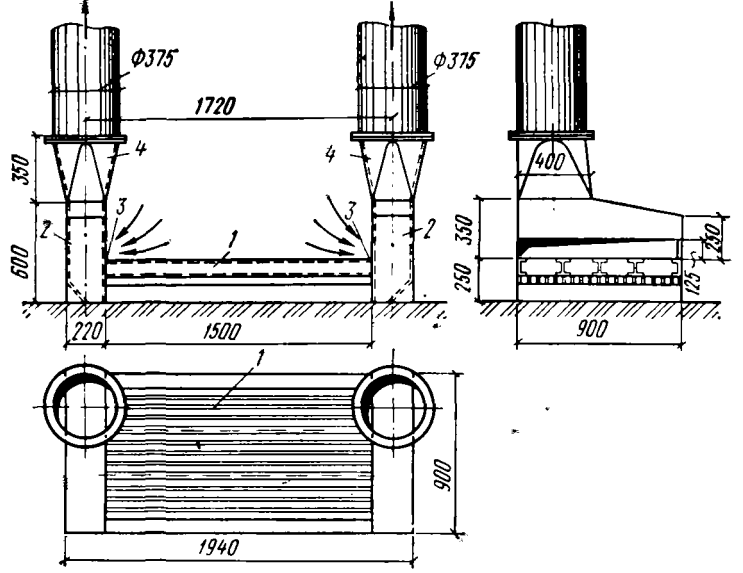


Рис. IV.19. Двусторонний бортовой отсос от мест пылевыделений
1 — **решетка**; *2* — **бортовой** отсос; *3* — боковая щель; *4* — **переходный** патрубок

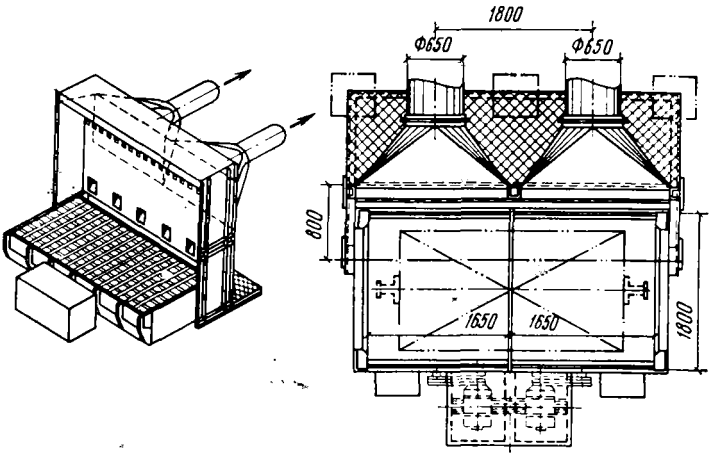


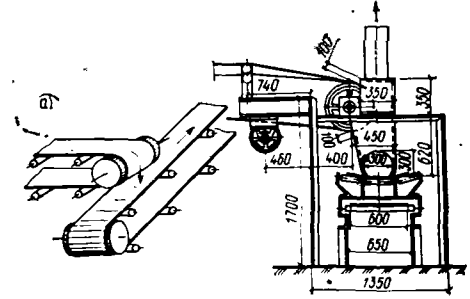
Рис. IV.20. Верхнебоковой отсос от мест пылевыделений

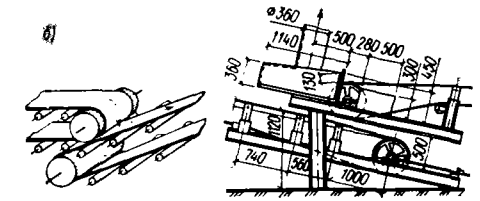
ство удаляемого воздуха L, м³/ч, в этих случаях определяют по формуле

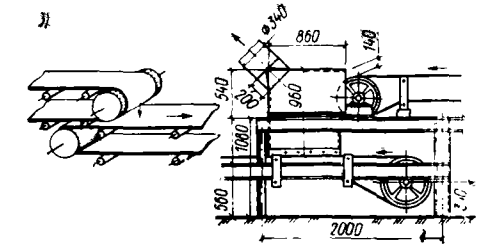
$$L = L'F,$$

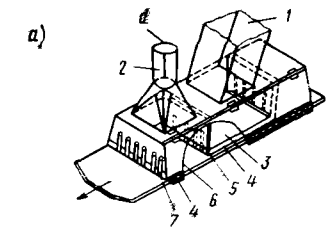
где L' — удельный расход воздуха на 1 м² площади, м³/(ч·м²); F — площадь напольной решетки.

При обрубке изделий и очистке литья удельный расход воздуха принимают равным 2500 м³/(ч·м²). Напольные решетки принимают также при окраске крупногабаритных изделий с установкой их в камерах и вне камер. В этом случае удельный расход









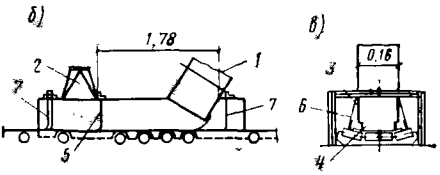


Рис. IV.22. Отсос от места перегрузки с двойными укрытиями
а — общий вид; *б* — продольный разрез; *в* — поперечный разрез; *1* — течка; *2* — вентиляционный отсос; *3* — боковые стенки внутреннего укрытия; *4* — полосовая резина; *5* — фартук на передней стенке башмака; *6* — бо вые стенки наружного укрытия петлях; *7* — уплотняющие фартуки

Рис. IV.21. Местные отсосы от мес перепада материала с ленты на ленту
а — при поперечном движении лен *б* — при перепаде материала с гори зонтальной ленты на ленту, движ щуюся под углом; *в* — при перепа материала с горизонтальной лен на ленту

воздуха на 1 м² площади решетки принимают: при пневматическом распылении окрасочных материалов в камерах — 1800—2200 м²/(ч·м²); при безвоздушном распылении в камерах — 1200—1500 м³/(ч·м²); вне камер 2200—2500 м³/(ч·м²). Большие удельные расходы воздуха принимают при окраске материалами, содержащими свинцовые соединения или ароматические углеводороды.

Вентилируемые укрытия, внутри которых создается отрицательное (по отношению к помещению) давление воздуха, предназначаются для предотвращения запыления воздуха рабочих помещений. Такими укрытиями оборудуются технологические линии транспортировки и переработки сыпучих материалов. Тщательная герметизация обеспечивает не только предотвращение поступления пыли в воздух помещений, но и способствует уменьшению уноса материала вытяжными системами. С этой целью следует предусматривать минимальное число рабочих отверстий и проемов. Скорость движения воздуха в рабочих проемах не должна превышать: 0,7 м/с — для порошкообразных материалов с частицами размером менее 0,2 мм; 0,1 м/с — для зернистых материалов

с размерами частиц 0,2—3 мм; 1,0 м/с — для зернистых материалов с размерами частиц 0,2—7 мм; 2,0 м/с — для кусковых материалов с частицами более 3 мм.

Вследствие движения, вращения технологического оборудования, падения материала и других причин в отдельных объемах внутри укрытий возникают положительные давления, в результате чего даже через незначительные неплотности в помещение может поступать сильно запыленный воздух. В местах сброса сыпучего материала с конвейера и в местах пересыпок устраивают укрытия с отсосом воздуха (рис. IV.21). С целью уменьшения уноса

Таблица IV.7

Технологическое оборудование	Тип укрытия и место присоединения вытяжного патрубка	Объем укрытия, м³	Объем всасываемого воздуха, м³/ч
Элеватор производительностью до 30 т/ч при поступлении холодного материала из дезинтегратора	Укрытие с отсосом из башмака	2—6	500—1500
То же, при поступлении материала из течки	Укрытие с отсосом от кожуха у головки элеватора	2—6	1000—2500
Магнитный сепаратор	Укрытие с отсосом в верхней части	0,5—2,0	800—1200
Плоские сита		—	1500 на 1 м² поверхности сита
Цилиндрические и полигональные сита		—	3500 на 1 м диаметра сита
Мешалки (смесители)		—	1500
Щековая дробилка		0,3—1,0	500—1100
Валковая дробилка		0,5—4,0	75,0—1200
Дробилки с открытым загрузочным отверстием	Бортовой отсос от загрузочного отверстия	—	7000 на 1 м² площади загрузочного отверстия
Бункер закрытый (емкий, материал поступает по течке)	Отсос от верхней крышки бункера	—	300

материала устанавливают укрытия с двойными стенками (рис. IV.22). Для уменьшения расходов воздуха, отсасываемого от укрытий, от мест поступления материала на дробилки и конвейеры, а также от технологических процессов, связанных с падением, необходимо снижать скорость движения материала. В этих случаях целесообразно применять наклонные желоба, желоба с изломами, отбойные козырьки и др. В молотковых дробилках следует предусматривать укрытия с двойными стенками, а грохоты заключать в укрытия. Расход удаляемого местным отсосом воздуха определяют; исходя из количества материала, его плотности, дисперсного состава и скоростей витания частиц. В табл. IV.7 приведены объемы воздуха, отсасываемого от укрытий дробильного и размольного оборудования.

IV.6. Использование утилизаторов теплоты в вытяжных устройствах

Среди энергопотребляющих отраслей одно из первых мест занимает отопительно-вентиляционная техника. Около 40 % всего добываемого в нашей стране твердого и газообразного топлива потребляют здания: 26 % жилые и общественные и 14 % промышленные.

Сокращение потребления теплоты зданиями может осуществляться различными путями и в частности повышением степени их теплозащиты, применением автоматизированных систем управления микроклиматом помещений, а также энергосберегающих систем отопления и вентиляции. Снижение потребления тепла зданиями при применении энергосберегающих систем вентиляции достигается за счет использования — утилизации теплоты удаляемого воздуха. В жилых и общественных зданиях вторичные энергоресурсы содержатся в основном в удаляемом вентиляционном воздухе, так как расход тепла на нужды вентиляции составляет 40—80 % теплоты, потребляемой этими зданиями. В воздухе промышленных зданий, удаляемом системами вентиляции, содержится около 30 % вторичных энергоресурсов. Сокращение потребления теплоты зданиями при применении устройств по утилизации теплоты, удаляемой вентиляционными системами, в отличие от других путей сокращения расхода теплоты позволяет уже сегодня обеспечить экономию энергоресурсов при сравнительно небольших капитальных затратах, в том числе в эксплуатируемых зданиях. Для сравнения отметим, что получить экономию теплоты за счет повышения степени теплозащиты зданий можно в достаточно отдаленном будущем, но при значительном увеличении капитальных затрат уже в настоящее время.

Теплоутилизационные установки по принципу использования источников теплоты можно разделить на два вида: теплоутилизаторы-теплообменники непосредственного действия и теплоутилизаторы с повышением потенциала источника теплоты при применении тепловых насосов. Наиболее простым способом утилиза-

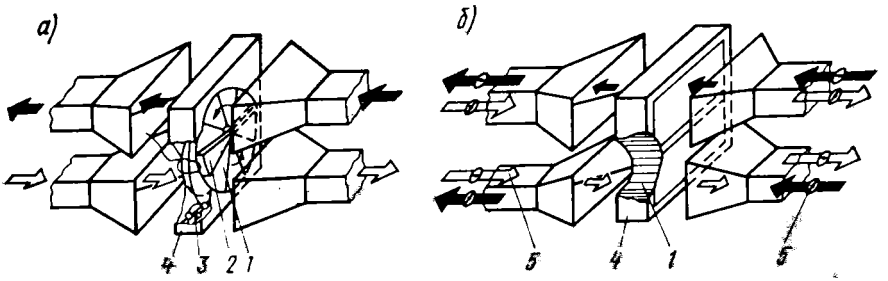


Рис. IV.23. Вращающийся регенеративный теплообменник (*а*), переключающийся регенеративный теплообменник (*б*)

1 — насадка; *2* — продувочная камера; *3* — электропривод; *4* — корпус; *5* — переключающиеся клапаны на вытяжном и приточном воздуховоде

ции теплоты, удаляемой вентиляционными установками, является применение теплоутилизаторов-теплообменников непосредственного действия без повышения потенциала теплоты отдающей среды. По принципу работы теплоутилизаторы-теплообменники непосредственного действия можно разделить на три группы: регенеративные теплоутилизаторы, воздуховоздушные или воздухожидкостные рекуперативные теплоутилизаторы и теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем. В регенеративных и рекуперативных утилизаторах рабочим веществом является теплообменивающаяся среда — воздух. В теплоутилизаторах с промежуточным теплоносителем тепловая энергия от теплоприемника к теплопередатчику передается промежуточным циркуляционным контуром, в котором применяется рабочее вещество (вода, незамерзающие растворы и др.).

В зависимости от условий работы системы вентиляции, экономических соображений, взаимного расположения приточных и вытяжных систем применяют различные утилизационные устройства непосредственного действия. Основными требованиями, предъявляемыми к ним, являются: обеспечение утилизации теплоты во всем диапазоне параметров наружного и внутреннего воздуха; высокая эффективность утилизации теплоты; небольшое сопротивление по воздуху; компактность; низкая установочная и эксплуатационная стоимость; большой срок службы; герметичность, если не разрешается рециркуляция воздуха.

В регенеративных воздуховоздушных утилизаторах теплота передается теплообменником, находящимся в потоке охлаждаемого и нагреваемого воздуха. В основном применяются регенеративные воздуховоздушные теплоутилизаторы двух типов — вращающиеся и переключающиеся.

Вращающийся регенеративный теплообменник (рис. IV.23) состоит из аккумулирующей массы — насадки, корпуса, электродвигателя с редуктором, приводящем во вращение насадку, и продувочной камеры, предназначенной для очистки насадки при переходе ее из потока удаляемого воздуха в поток приточного. В переключающихся регенеративных теплообменниках насадка

неподвижна и последовательно омывается удаляемым и приточным воздухом (см. рис. IV.23, *б*).

В регенеративных вращающихся теплообменниках (см. рис. IV.23, *а*) для более интенсивной передачи влаги от вытяжного воздуха приточному насадки выполняют из пористого материала (картон) и пропитывают сорбенитом. Наиболее часто в этих целях применяют хлористый и бромистый литий. Передача влаги происходит в результате сорбции в вытяжном канале и десорбции в приточном.

Вращающиеся регенеративные теплообменники, разработанные ЦНИИ промзданий, ВНИИ кондиционером, МНИИТЭП и ТашЗНИИЭП, являются наиболее экономичными утилизаторами тепла удаляемого воздуха (табл. IV.8).

Таблица IV.

Организация-разработчик	Тип регенератора	Номинальный расход воздуха, м³/ч	Материал насади	Площадь, м²		Глубина насадки, м	Масса, кг
				теплообменной поверхности	фронтального сечения		
МНИИТЭП	РТ-5	5 000	Алюминиевая фольга или технический картон	424	0,63	0,20	450
	РТ-10	10 000		305	0,63	0,20	375
				1060	1,59	0,20	725
				763	1,59	0,20	536
	РТ-15	15 000		1526	2,29	0,20	910
				1090	2,29	0,20	636
	РТ-20	20 000		1884	2,83	0,20	1100
				1353	2,83	0,20	762
	РТС-5	5 000	Технический картон, пропитанный раствором хлористого лития	305	0,63	0,20	375
	РТС-10	10 000		763	1,59	0,20	536
	РТС-15	15 000		1090	2,29	0,20	636
	РТС-20	20 000		1353	2,83	0,20	762
ТашЗНИИЭП	ВРТ-2	16 000	Алюминиевая фольга	1394	2,83	0,24	69[illegible]
		14 000	Полиэтиленовые волокна	1394	2,83	0,20	450
	ВРТ-2,5	25 000	Алюминиевая фольга	2224	4,52	0,24	1050
		21 000	Полиэтиленовые волокна	2224	4,52	0,20	950
	ВРТ-3	38 000	Алюминиевая фольга	3240	6,58	0,24	1437
		31 000	Полиэтиленовые волокна	3240	6,58	0,20	1150

К недостаткам этих теплообменников можно отнести возможность перетекания загрязненного воздуха из вытяжного канала в приточный. Поэтому существует опасность бактериального загрязнения приточного воздуха как следствие возможного перетекания вытяжного воздуха в местах уплотнения насадки, а также непосредственного контакта насадки с удаляемым и приточным воздухом. В связи с этим частично ограничивается их применение для нагрева приточного воздуха воздухом, удаляемым из помещений, в которых по СНиП запрещается применение рециркуляции.

При отрицательных температурах приточного воздуха на поверхности регенератора может замерзать конденсат, который образуется при прохождении охлажденной насадки в потоке влажного удаляемого воздуха. Если помещения, обслуживаемые системами вентиляции, в которых применяются воздуховоздушные рекуперативные теплообменники, допускают кратковременное (на 5—8 мин через 2—4 ч) прекращение их работы, то возможно производить оттаивание замерзшего конденсата, прекращая на это время поступление в насадку холодного приточного воздуха. Предотвратить инеобразование можно также путем переключения регенератора с противоточной на прямоточную схему работы, но для этого необходимо устройство продувочной камеры с переключающимися воздушными клапанами, что усложняет систему.

Воздуховоздушные теплоутилизаторы бывают двух типов — кожухотрубные и пластинчатые (рис. IV.24 и IV.25). В ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны кожухотрубные теплообменники со стеклянными или алюминиевыми трубками. Через трубки пропускают приточный воздух, а в межтрубном пространстве движется удаляемый воздух. Для предотвращения обмерзания трубок предусматривается отводной канал, через который при отрицательных температурах пропускают часть наружного воздуха. Кожухотрубные теплообменники по технико-экономическим показателям уступают пластинчатым. Пластинчатые теплообменники по сравнению с регенеративными теплообменниками обладают рядом преимуществ: не имеют вращающегося электропривода или подвижных частей с уплотнениями, герметичны и уступают им только в компактности. По сравнению с кожухотрубными они более экономичны и просты в изготовлении. Значительные преимущества пластинчатых рекуперативных теплообменников определили их наибольшее распространение. Разработано множество конструкций этих теплообменников. Из пластинчатых теплообменников наиболее простыми в изготовлении являются металлические гладкопластинчатые рекуперативные теплообменники.

ВНИИкондиционер разработал для выпуска высокоэффективные пластинчатые теплообменники, выполненные из непрерывной алюминиевой или стальной ленты. Предусмотрены два типоразмера, рассчитанные на 5 и 10 тыс. м³/ч воздуха. Эффективность их достигает 0,7, сопротивление по воздуху 250 Па.

МНИИТЭПом разработаны пластинчатые металлические теп-

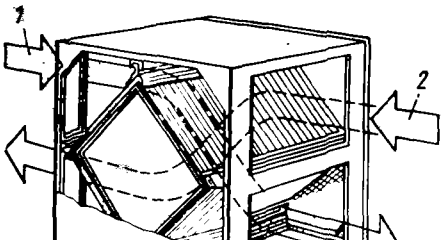
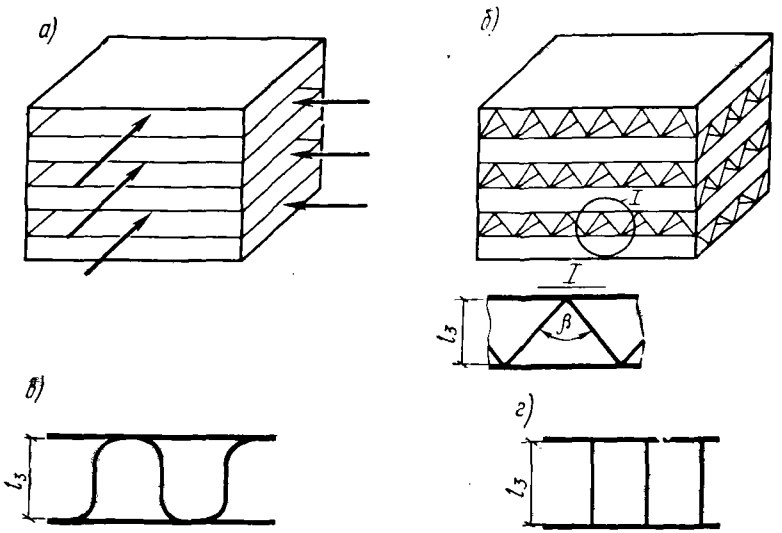


Рис. IV.24. Рекуперативный воздухо-воздушный теплообменник
1 — поток удаляемого воздуха; *2* — поток приточного воздуха

Рис. IV.25. Схема устройства воздухо-воздушного теплообменника
а — с гладкими пластинами; *б* — с треугольными пластинами; *в* — с *U*-образными пластинами; *г* — с П-образными пластинами



лообменники РК-1 и РК-2 четырех типоразмеров. Эффективность их 0,55—0,65, сопротивление по воздуху 150—220 Па.

ЦНИИпромзданий для агрессивных сред разработал пластинчатый стеклянный теплообменник.

Основным недостатком рекуперативных теплообменников является то, что при низких отрицательных температурах воздуха конденсат, образующийся в каналах удаляемого воздуха, замерзает, уменьшая эффективность его работы и увеличивая его сопротивление. При эксплуатации они требуют либо отключения для оттаивания, либо предварительного подогрева приточного (наружного) воздуха.

Разработаны теплообменники, где условие необмерзания обеспечивается до температур приточного воздуха — 25 °С. В таких теплообменниках скорость движения влажного воздуха больше скорости движения приточного. Он имеет сложную конструкцию, значительное сопротивление (до 800 Па) по воздуху, низкую эффективность (до 0,53). Пластинчатые теплообменники собирают из гладких пластин или между гладкими пластинами устанавли-

вают пластины треугольного, П- или U-образного профиля (см. рис. IV.25), которые увеличивают площадь контакта воздуха с пластиной. Сравнение пластинчатых воздуховоздушных теплообменников производится по значениям $F_{уд}$, $f_{уд}$ и α (табл. IV.9). Величины $F_{уд}$ и $f_{уд}$ находят по формулам:

$$F_{уд}=F/V;\ f_{уд}=f/V,$$

где f — площадь живого сечения для прохода воздуха, м²; V — объем теплообменника, м³; F — площадь теплообменной поверхности, м².

Выпадение конденсата в каналах удаляемого воздуха, а также возможность его замерзания в холодный период года ограни-

Таблица IV.9

Расстояние между пластинами $l_{пл}$, м	$F_{уд}$	$f_{уд}$	α	$F_{уд}$	$f_{уд}$	α	$F_{уд}$	$f_{уд}$	α
	для треугольных равносторонних каналов			для U-образных каналов			для плоских каналов		
0,002	1905	0,857	$\frac{44,9}{44,9}$	1632,0	0,877	$\frac{52,0}{62,7}$	634	0,952	$\frac{30,0}{39,7}$
0,005	1165	0,912	$\frac{26,8}{38,2}$	998,0	0,925	$\frac{35,0}{42,9}$	358	0,971	$\frac{21,0}{43,6}$
0,010	591	0,955	$\frac{19,0}{36,0}$	506,0	0,962	$\frac{21,0}{36,4}$	196	0,985	$\frac{21,8}{37,1}$

Примечание. Над чертой приведены значения для $v\rho = 5$ кг/(с·м²), под чертой для $v\rho = 10$ кг/(с·м²).

чивает применение воздуховоздушных пластинчатых обменников с влагонепроницаемыми пластинами. В теплообменниках с пластинами, выполненными из влагопроницаемого материала (бумага), через этот материал, разделяющий приточный и вытяжные каналы, происходит не только тепло-, но и влагообмен. При их применении во многих случаях отпадает необходимость увлажнения приточного воздуха в холодный период года и снижается опасность замерзания влаги в каналах рекуператора.

В системах утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем в качестве теплообменников используют серийно выпускаемые промышленностью водяные воздухонагреватели, устанавливаемые на приточных и вытяжных каналах и связанные между собой контуром промежуточного теплоносителя. В этих системах может использоваться как теплота, удаляемая системами общеобменной и местной вентиляции, так и теплота, содержащаяся в газовоздушных смесях, удаляемых от технологического оборудования.

Достоинствами системы утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем являются:

полная аэродинамическая изоляция потоков приточного и удаляемого воздуха, исключающая возможность переноса вредных веществ из удаляемого воздуха в приточный (газов, пыли, аэрозолей, запахов, бактерий и других загрязнений);

возможность устройства систем утилизации в эксплуатируемых зданиях, в том числе и при размещении приточных и вытяжных установок на значительном расстоянии одна от другой;

возможность устройства одной системы утилизации теплоты, объединяющей несколько систем вытяжной или приточной вентиляции с разным тепловым потенциалом удаляемого воздуха и различными требуемыми параметрами приточного воздуха.

Несмотря на универсальность эти системы обладают большим недостатком — значительной металлоемкостью. Однако этот недостаток может быть устранен. В настоящее время ведутся исследования и разрабатываются опытные конструкции воздухонагревателя, требующие меньших затрат металла. В качестве теплообменников в системе утилизации теплоты применяют серийно выпускаемые калориферы пластинчатые (КВС, КВБ), биметаллические с накатным оребрением (КСК) и воздухонагреватели центральных кондиционеров. Системы утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем состоят из теплообменников, располагаемых в каналах удаляемого (воздухоохладителей) и приточного (воздухонагревателей) воздуха, соединенных замкнутым циркуляционным контуром, заполненным промежуточным теплоносителем, циркуляция которого осуществляется с помощью насосов. Таким образом, удаляемый воздух передает свою теплоту промежуточному теплоносителю, нагревающему приточный воздух.

При использовании теплоты воздуха или газовоздушной смеси, содержащих пыль или аэрозоли, которые могут осаждаться в теплообменниках, необходимо предусматривать предварительную очистку воздуха до концентраций, не превышающих предусмотренные.

В качестве промежуточного теплоносителя могут применяться вода и незамерзающие растворы: вода, если температура промежуточного теплоносителя в расчетном режиме не понижается ниже 5 °С, незамерзающие растворы солей и гликолей — в остальных случаях.

Схема системы утилизации теплоты удаляемого воздуха при положительной начальной температуре приточного воздуха, поступающего в воздухонагреватель, показана на рис. IV.26, *а*. В таких системах исключается возможность замерзания конденсата на поверхности теплообменников в вытяжном канале. При охлаждении удаляемого воздуха ниже температуры «точки росы» для удаления конденсата необходимо предусматривать установку поддона под теплообменником вытяжного канала и дренажных трубок для отвода конденсата.

Схема утилизации теплоты при отрицательных температурах приточного воздуха (рис. IV.26, *б*) предусматривает защиту от

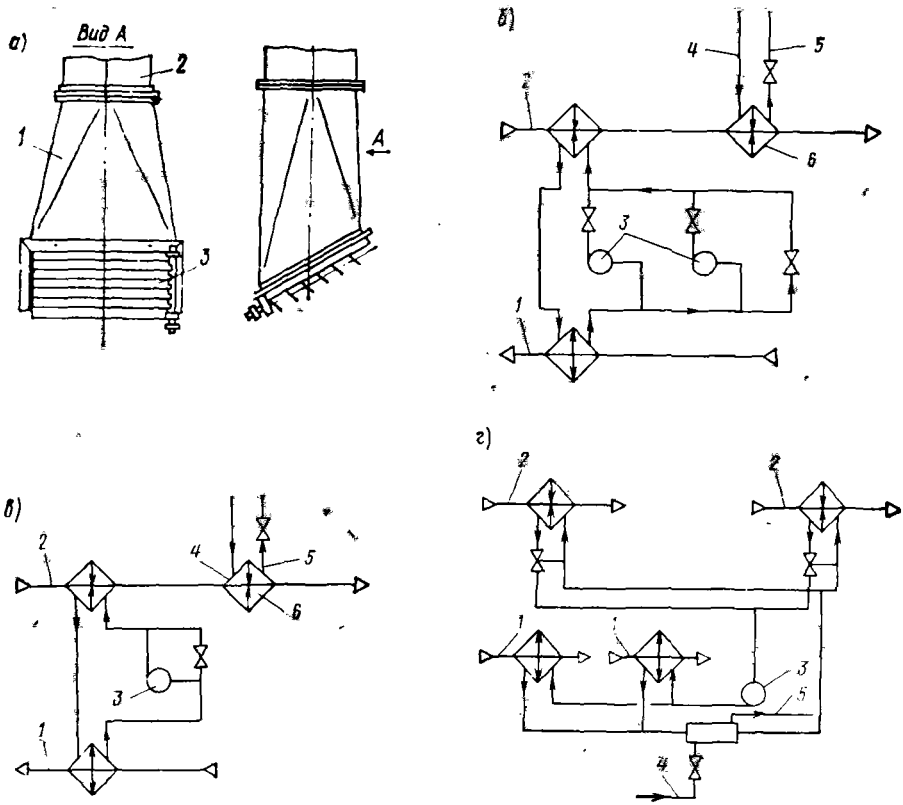


Рис. IV.26. Принципиальная схема утилизации тепла с промежуточным теплоносителем при положительной начальной температуре приточного воздуха (*а*), при отрицательной начальной температуре приточного воздуха и переменном расходе теплоносителя (*б*), при отрицательной начальной температуре приточного воздуха и обводе теплоносителя (*в*) и при отрицательных начальных температурах наружного воздуха и подогреве теплоносителя при объединении нескольких приточных или вытяжных установок (*г*)

1 — удаляемый воздух; *2* — приточный воздух; *3* — насос; *4* — из теплосети; *5* — в теплосеть; *6* — дополнительный воздухонагреватель

обмерзания поверхности теплообменников в вытяжном канале или периодическое оттаивание. Схема применима для одной приточной и одной вытяжной установки или нескольких приточных и вытяжных установок, работающих в одном режиме с переменным расходом промежуточного теплоносителя.

В холодный период года при температурах наружного воздуха ниже критических, когда возможно образование наледи на поверхности теплообменников в вытяжном канале, благодаря параллельной работе двух насосов одинаковой подачи обеспечивается циркуляция максимального расхода промежуточного теплоносителя, вследствие чего исключается обмерзание теплообменников. При температуре воздуха выше критической работает один насос. При необходимости устанавливается дополнительный теплообменник, питающийся от независимого источника теплоты

(теплосети). Для случая, когда оттаивание наледи происходит в результате временного повышения температуры теплоносителя, циркулирующего через теплообменник вытяжной установки вследствие уменьшения циркуляции теплоносителя через теплообменник приточной установки, применяют схему, приведенную на рис. IV.26, *в*. Регулирование осуществляется с помощью обводной линии циркуляционного насоса. Такая схема может применяться, если допускается временное понижение температуры приточного воздуха на период, необходимый для оттаивания образовавшейся наледи на теплообменнике вытяжной установки (до 1 ч).

Схема, представленная на рис. IV.26, *г*, применима для двух или более установок (приточных и вытяжных), работающих в разных тепловых режимах (разные потенциалы удаляемого воздуха, разные параметры приточного воздуха). В этом случае предусматривается подогрев промежуточного теплоносителя от независимого источника теплоты. Экономичность таких систем на 15 % ниже по сравнению с системами без подогрева.

Переключение систем, где предусматривается оттаивание наледи на теплообменниках, установленных в вытяжных воздуховодах (см. рис. IV.26, *в*, *г*), на режим оттаивания производится системой автоматики при увеличении сопротивления теплообменника на заданную величину (на 50 %).

Несмотря на большое многообразие конструктивных решений утилизаторов теплоты, термодинамический анализ их работы и сравнительная оценка их эффективности могут быть выполнены по единым критериям. Действительно, в утилизаторах каждого типа имеются следующие элементы: среда — источник и среда — потребитель тепловой энергии; теплоприемник, воспринимающий тепловую энергию источника, и теплоприемник, передающий тепловую энергию потребителю; рабочее вещество, транспортирующее тепловую энергию от источника к потребителю.

ГЛАВА V. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫТЯЖНЫХ И ПРИТОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

V.1. Вентиляция помещений большого объема

Выбор того или иного способа вентиляции в значительной степени определяется соотношением объема помещения и числом находящихся в нем людей. В зависимости от назначения помещения большого объема могут быть производственными, общественными, административными или вспомогательными. В больших производственных помещениях с относительно малым числом работающих при проектировании вентиляции необходимо обеспечивать нормальные условия теплового микроклимата на рабочих местах с помощью локальной приточной вентиляции.

В помещениях большой высоты с наличием значительных теплоизбытков имеется возможность максимально использовать гра-

витационные силы при устройстве естественной вентиляции, в этом случае подачу приточного воздуха, как правило, предусматривают в рабочую или обслуживающую зону.

При отсутствии теплоизбытков в таких помещениях резко уменьшается возможность использования аэрации и возникает необходимость подачи и удаления механическим путем огромных масс вентиляционного воздуха. При подаче больших количеств воздуха системами приточной вентиляции, выполняющими обычно еще и функции воздушного отопления, весьма остро встает вопрос рационального распределения и эффективного использования приточного воздуха. В крупных многопролетных блокированных корпусах, где под одной кровлей осуществляется комплекс различных технологических процессов, связанных, например, с изготовлением и сборкой легковых и грузовых автомобилей, тракторов, вагонов, станков и другого оборудования, приточный воздух, как правило, подают в верхнюю зону горизонтальными или наклонными струями. При горизонтальной сосредоточенной подаче рабочая зона вентилируется обратным воздушным потоком. При использовании наклонных струй приточный воздух поступает непосредственно в рабочую зону через воздухораспределители, установленные на высоте не менее 4 м от пола. В связи с необходимостью обеспечения подвижности воздуха в рабочей зоне в допустимых пределах воздухораспределители следует оборудовать соответствующими регулирующими устройствами. При определении высоты подачи воздуха следует учитывать возможность налипания струй на плоскости перекрытия и стен. Число параллельно действующих приточных струй рассчитывают в зависимости от геометрических размеров помещения и наличия крупногабаритного технологического оборудования.

Примером вентиляции помещения большого объема может служить вентиляция больших электросварочных цехов, в которых производится ручная сборка крупногабаритных изделий и отсутствуют фиксированные рабочие места. Натурные исследования, выполненные институтом Проектпромвентиляция в сварочных цехах одного из машиностроительных заводов и Московского завода «Электрощит», подтвердили, что рабочая зона сварочного цеха может эффективно вентилироваться как прямыми, так и обратными воздушными потоками. На рис. V.1 показана схема вентиляции сборочно-сварочного цеха завода «Электрощит». Анализ проб воздуха показал, что при подвижности воздуха в рабочей зоне 0,4—0,5 м/с наблюдается отклонение дымового факела от места сварки и содержание вредных примесей (сварочная пыль, окислы марганца) под щитком электросварщика находится в допустимых пределах. Основная трудность при наладке вентиляции в этом случае заключалась в регулировке приточной отопительно-вентиляционной установки с целью создания равномерной не превышающей санитарно-гигиенических норм скорости воздуха на всем протяжении рабочей зоны.

Отборы проб воздуха по высоте цеха показали, что зона мак-

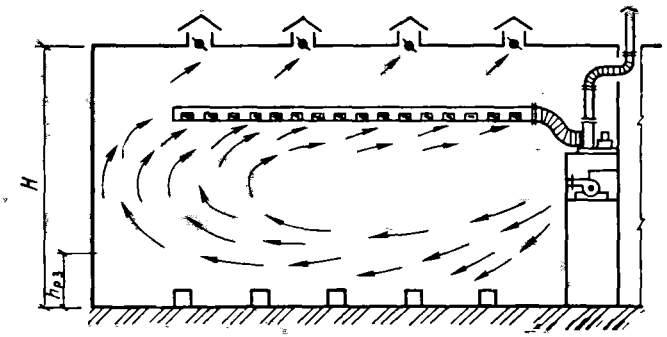


Рис. V.1. Схема вентиляции сборочно-сварочного цеха

симальной концентрации сварочной пыли наблюдается на определенной высоте. Этот факт объясняется тем, что в сварочной пыли имеется довольно большая по массе фракция, скорость витания которой составляет около 2 см/с. Эта часть сварочной пыли поднимается только до той высоты, где вертикальная скорость движения воздуха соизмерима со скоростью витания этих частичек. Выше эти частички пыли поднимаются в очень небольшом количестве и только вследствие турбулентного переноса, который возникает в воздушных потоках, двигающихся вдоль цеха. В связи с тем, что в сварочных цехах, как правило, нет мощных тепловых источников, циркуляционных токов в вертикальной плоскости большей частью не наблюдается. Тем не менее натурные исследования показали, что при установившемся воздушно-тепловом режиме в цехе высота максимальной концентрации сварочной пыли зависит от количества выделяемой при сварке теплоты, т. е. от силы сварочного тока, так как напряжение тока при сварке практически не меняется. В свою очередь, сила сварочного тока зависит от диаметра и марки применяемых электродов. Так например, в сборочном цехе завода «Электрощит» в холодный период года при использовании электродов марки ОММ-5 и ЦМ-7 высота максимальной концентрации пыли $h_{к.п}$ в зависимости от силы тока $I_т$ составила:

$I_т$, A	180	200	280
$h_{к.п}$, м	6	6,5	9,5

В теплый период года высота расположения зоны максимальных концентраций в этом цехе несколько снижалась.

На основании изложенного можно рекомендовать при отсутствии фиксированных рабочих мест в больших сварочных цехах проектировать общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию с подачей приточного воздуха в рабочую зону и с механической вытяжкой на оптимальной высоте, где наблюдается повышенная концентрация вредных примесей.

Раздачу приточного воздуха в помещениях большого объема необходимо проектировать через отверстия воздухораспределителей, расположенные выше рабочей или обслуживаемой зоны, если загрязненный воздух удаляется местными отсосами или система-

ми общеобменной вытяжной вентиляции из нижней зоны помещения. Подачу приточного воздуха в верхнюю зону рекомендуется проектировать также в помещениях общественных, административных и вспомогательных зданий: зрелищных залах, учебных аудиториях, конструкторских бюро, конференц-залах, вестибюлях и т. д. В помещениях относительно небольшой высоты при большом числе рабочих мест (цехи заводов радиотехнической, электронной, приборостроительной, текстильной промышленности и т. д.) кратность воздухообмена иногда достигает значительной величины. Для обеспечения равномерной раздачи приточного воздуха по площади рабочей зоны очень важным является правильный подбор типа воздухораспределителя. Распределение воздуха необходимо рассчитывать, ориентируясь на максимальные нагрузки и допустимые скорости движения воздуха для теплого периода года, проверяя расчет на условия холодного периода.

Вытяжные и рециркуляционные отверстия следует располагать так, чтобы всасывающие факелы не оказывали непосредственного влияния на близко расположенные участки рабочей зоны, но по возможности усиливали движение воздуха в застойных зонах помещения. Воздух из помещений общественных, административных и вспомогательных допускается удалять естественным путем через шахты в перекрытии, а также механической вытяжной вентиляцией через холлы и коридоры.

В магазинах с большими залами по продаже продовольственных и промышленных товаров системы приточно-вытяжной вентиляции проектируют отдельно для каждого зала. Рециркуляцию воздуха можно применять во всех торговых залах магазинов, кроме залов с химическими, синтетическими или иными пахучими веществами.

В помещениях вспомогательного назначения в теплый период года допускается подача наружного воздуха естественным путем через окна.

V.2. Вентиляция помещений со значительными теплоизбытками

При значительных теплоизбытках в помещении наиболее рациональной является вентиляция по схеме «снизу — вверх», поскольку подогретый воздух как более легкий всегда поднимается кверху. В производственных помещениях теплоизбытки в чистом виде, т. е. не сопровождаемые иными вредными выделениями, встречаются редко. Примером этого могут являться лишь помещения бойлерных, компрессорных, машинных залов, механических цехов и т. п. В большинстве производственных помещений со значительными теплоизбытками поступлению теплоты способствует также выделение вредных газов, паров, пыли.

Конвективные потоки, образующиеся вблизи мощных источников теплоты, часто транспортируют в верхнюю зону помещения мелкую пыль и газы тяжелее воздуха. По этой причине

в цехах с мощными тепловыми источниками загрязненный воздух системами общеобменной вытяжной вентиляции целесообразно удалять из верхней зоны помещения, где наблюдаются наибольшая концентрация вредных веществ и наиболее высокая температура. Приточный воздух в помещениях со значительными теплоизбытками рекомендуется подавать рассредоточенно в рабочую зону, чтобы сохранить возможно больший перепад температуры по высоте помещения и уменьшить расчетный воздухообмен. Подачу *непосредственно в рабочую зону* огромного количества приточного воздуха зачастую очень трудно осуществить, так как создается превышающая допустимую санитарными нормами неравномерность в распределении скоростей и температур по площади рабочей зоны.

Практически подачей в рабочую зону считается выпуск приточного воздуха из воздухораспределителей, расположенных на высоте до 4 м — при подаче горизонтальными или наклонными струями и до 6 м — струями, направленными горизонтально вниз. При этом необходимо предусмотреть, чтобы потоки воздуха, образуемые в помещении приточными струями, не нарушали работу местных отсосов и, отражаясь от строительных конструкций и технологического оборудования, не создавали в рабочей или обслуживаемой зоне скорость воздуха, превышающую допустимую. При проектировании распределения воздуха в помещении следует также учитывать скорость, направление и количество воздуха в струях, возникающих от движения частей производственного оборудования. *Эти данные получают путем натурных исследований* или в задании технологов.

При подаче приточного воздуха в рабочую зону горизонтальными и наклонными струями рекомендуется применять воздухораспределители с регулированием направления воздушного потока в горизонтальной плоскости на угол не менее 30°. На рис. V.2. показан проект вентиляции термического цеха, разработанный институтом Промстройпроект. Приточный воздух в термический цех подается с помощью регулируемых воздухораспределителей типа НРВ, установленных у колонн на высоте 4 м от пола. Общий объем подаваемого в цех приточного воздуха составляет 360 тыс. м³/ч. Воздух из помещения удаляется механической общеобменной и местной вентиляцией. Общеобменная вытяжная вентиляция с помощью крышных вентиляторов предусматривает удаление воздуха в объеме 170 м³/ч из верхней наиболее загрязненной зоны помещения. Системы местной вытяжной вентиляции, оборудованные отсосами *непосредственно у источников* вредных выделений, удаляют из помещения остальной воздух.

В современных больших горячих цехах тепловыделения могут достигать 250—300 Вт/м³, летом в этих помещениях требуются *30—40-кратные воздухообмены, составляющие сотни тысяч* и миллионы кубометров воздуха в час. Осуществление таких воздухообменов с помощью механической вентиляции трудно выпол-

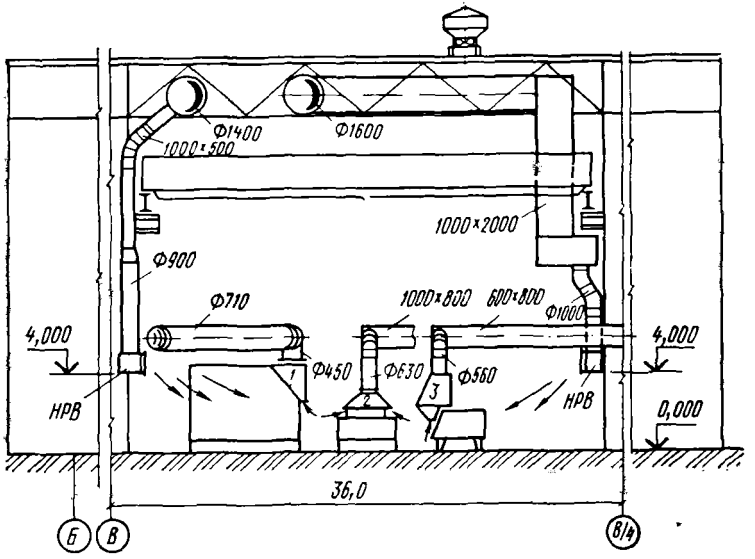


Рис. V.2. Вентиляция термического цеха

1 — местный отсос от моечной машины; *2, 3* — местные отсосы от камерных электропечей; НРВ — воздухораспределитель

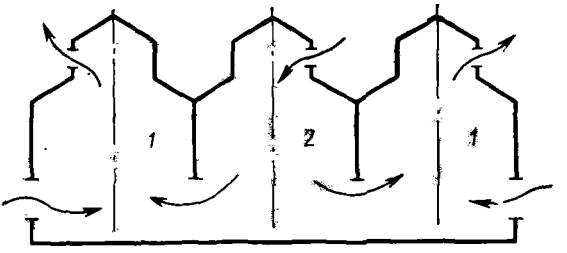


Рис. V.3. Схема аэрации трехпролетного цеха

1, 2 — пролеты соответственно горячий и холодный

лимо и экономически нерационально. В этом случае необходимо широко использовать естественную вентиляцию — аэрацию. Воздухообмены при аэрации могут достигать огромных величин. Так, по данным натурных обследований, естественный воздухообмен летом в мартеновском цехе одного из заводов составлял около 23 000 тыс. кг/ч, в мартеновском цехе другого завода — 19 000 тыс. кг/ч и в прокатном цехе — 21 000 тыс. кг/ч.

В теплое время года при наличии теплоизбытков аэрация может применяться во всех производственных помещениях, кроме тех, где по условиям технологии требуется предварительная обработка воздуха.

Часто наиболее рациональным решением вентиляции является комбинация аэрации с механической вентиляцией в виде местного отсоса или местного притока (душирование, завеса и т. п.). Механическая и естественная вентиляция взаимно дополняют одна другую и позволяют добиться нормальных санитарно-гигиенических условий воздушной среды в рабочей зоне самым экономичных способом.

Для обеспечения устойчивого эффективного естественного проветривания горячий цех нужно располагать в отдельно стоя-

щем одноэтажном здании, оснащенном незадуваемыми фонарями. Наиболее совершенно аэрация осуществляется в тех случаях, когда она конструктивно предусматривается при проектировании здания цеха путем подбора наиболее рационального профиля крыши и расположения открывающихся створок в нижнем и верхнем ярусах стен и в фонаре.

Согласно требованиям СНиП приточный воздух в производственное помещение при естественной вентиляции следует подавать для теплого периода года на высоте не менее 0,3 м, но не выше 1,8 м, а для холодного периода — не менее 4 м от уровня пола или рабочей площадки до низа вентиляционных проемов.

Подачу неподогретого воздуха в холодный период года на отметках ниже 4 м допускается проектировать при разработке мероприятий, предотвращающих непосредственное воздействие холодного воздуха на работающих. Обычно при устройстве аэрации в зданиях предусматривают в окнах открываемые фрамуги или жалюзи, площадь которых определяется расчетом, однако общая их площадь должна составлять не менее 20 % общей площади световых проемов в боковом остеклении. Для возможности направления воздуха вверх в холодный период года и вниз в теплый период фрамуги или жалюзи должны быть оборудованы соответствующими устройствами.

В однопролетных цехах приточный воздух поступает через отверстия в нижней части стены, а отработавший воздух уходит через отверстия в фонарях. В многопролетных цехах одних отверстий в наружных стенах для подачи свежего воздуха к рабочим местам, расположенным в глубине цеха, оказывается недостаточно, поэтому необходимо вводить наружный воздух и через фонари (рис. V.3). Пройдя вниз, наружный воздух должен перемещаться через проемы, оставленные внизу перегородок, между средним и крайними пролетами. При этом необходимо, чтобы воздух не перегревался и не был насыщен производственными вредными выделениями соседних помещений. Следовательно, технологический процесс в многопролетном цехе должен быть организован так, чтобы температура воздуха в среднем пролете была более низкой («холодный» пролет).

Для более устойчивой работы аэрации в многопролетных цехах холодные пролеты обычно выполняют меньшей высоты, а горячие — большей. Однако при таких профилях цехов создаются сложные условия для удаления снега с кровли в межфонарном пространстве. Кроме того, при увеличении высоты горячих цехов требуются большие капитальные затраты.

Для устойчивости работы аэрации также рекомендуется площадь нижних приточных отверстий принимать несколько больше площади верхних вытяжных отверстий. Распределение давления ветра на поверхности наружного ограждения здания в значительной степени зависит от того, является ли оно открыто стоящим или находится вблизи других зданий. Расположенные впереди другие здания могут создать зону пониженного давления («аэро-

динамическую тень»), а здания, находящиеся довольно близко сзади, могут способствовать появлению зоны повышенного давления; то и другое существенно изменяет распределение давлений у рассматриваемого здания, если оно находится в пределах этих областей. Влияние этих факторов обычно оценивается на стадии разработки генплана.

При расчете аэрации в основном приходится решать две задачи:

1) определять воздухообмен помещения при известных расположении приточных и вытяжных отверстий и их площади;

2) вычислять площадь аэрационных отверстий, обеспечивающих заданный воздухообмен.

Первая из указанных задач решается при выявлении возможного эффекта естественного вентилирования уже существующего здания; вторая — при проектировании новых зданий, когда, зная величину теплоизбытков помещения, необходимо определить желательную площадь открывающихся фрамуг.

При расчете аэрации принимаются следующие допущения:

установившийся во времени стационарный процесс в помещении;

температура в помещении по площади одинакова;

давление постоянно только по горизонтали, при переходе из одного уровня к другому давление изменяется по гидростатическому закону;

отсутствие всяких препятствий на пути движения воздуха, отсутствие в помещении местных потоков воздуха, создаваемых источниками теплоты и приточными отверстиями;

отсутствие инфильтрации через щели и поры ограждающих конструкций;

постоянство аэродинамических коэффициентов для моделей и фактических зданий.

Расчет аэрации основывается на том, что при установившемся состоянии массовое количество воздуха, поступающего в цех в единицу времени, равно массовому количеству воздуха, поступающего в цех в единицу времени, и массовому количеству воздуха, выходящего из цеха в ту же единицу времени

$$\Sigma G_{\text{пр}} = \Sigma G_{\text{выт}}. \qquad \text{(V.1)}$$

Равенство (V.1) называется уравнением баланса воздухообмена. Кроме уравнений баланса воздухообмена имеется также уравнение баланса теплоты: количество теплоты, уносимое уходящим из цеха воздухом, равно суммарному количеству теплоты, поступившему с наружным воздухом и выделившемуся в цехе.

Аэрацию рассчитывают для неблагоприятного режима работы — при полном отсутствии ветра. Существуют методы расчета аэрации помещений, характеризуемых значительными теплоизбытками, основанные на понятиях о нейтральной зоне, о внутреннем избыточном давлении и т. д. Большой практический интерес представляет предложенный И. А. Шепелевым и Е. О. Шилькротом метод расчета аэрации с учетом фактически имеющегося

температурного градиента по высоте помещения. Обычно нагретый воздух поднимается вверх, часть его удаляется через аэрационный фонарь, а оставшаяся часть скапливается вверху, образуя «тепловую подушку». Предполагается, что нижняя плоскость тепловой подушки, так называемое температурное перекрытие, разделяет помещение по высоте на две зоны: нижнюю — с температурой рабочей зоны, а верхнюю — с температурой уходящего воздуха. Зная высоту расположения температурного перекрытия от пола помещения, можно легко рассчитать площади приточных и вытяжных отверстий в стенах и в аэрационном фонаре.

V.3. Вентиляция предприятий строительной индустрии

Строительная индустрия является одной из интенсивно развивающихся отраслей народного хозяйства. На предприятиях стройиндустрии производство в своем большинстве связано с переработкой природных нерудных материалов. Технология производства, как правило, предусматривает дробление и смешивание измельченного сырья с другими компонентами и связующими материалами с последующей прессовкой, сушкой и термической обработкой. В современной технологии производства строительных материалов широко используются химические вещества. Наметившаяся тенденция применения порошкообразных масс на предприятиях строительной индустрии ведет к увеличению пылеобразования. Пыль выделяется практически на всех этапах производства строительных материалов. Борьба с пылью с помощью вентиляции может быть эффективна только тогда, когда она ведется комплексно с проведением современных технологических мероприятий. К таким прогрессивным технологическим мероприятиям можно отнести, например, замену сухого помола мокрым или применение вместо механического транспортирования измельченного сырья (шнеки, элеваторы, ленточный конвейер) пневмо- или гидротранспорта, в результате чего можно резко уменьшить пылевыделение.

Как правило, на предприятиях стройиндустрии проектируют механическую приточно-вытяжную вентиляцию. Приточный воздух в пыльных помещениях рекомендуется подавать в верхнюю зону рассредоточенно с малыми скоростями, так как сосредоточенная раздача приточного воздуха может привести к взмучиванию оседающей на пол и строительные конструкции пыли. Приточные воздуховоды необходимо располагать таким образом, чтобы выходящий воздух не препятствовал естественному оседанию пыли; с пола и со строительных конструкций пыль убирается мокрым способом или с помощью пылесоса.

В пыльных помещениях эффективно применение перфорированных воздуховодов и панелей. Следует отметить, что способность пыли длительное время витать в воздухе, особенно при наличии воздушных потоков, чрезвычайно затрудняет борьбу с ней, поэтому взмучивание уже осевшей пыли струями воздуха

крайне нежелательно. Если в спокойном воздухе частица минеральной пыли размером в 1 мкм оседает со скоростью около 25 см/ч, то в промышленном помещении из-за подвижности воздуха частицы пыли размером 2—3 мкм практически почти не оседают.

При проектировании вентиляции и аспирации на предприятиях строительной индустрии необходимо руководствоваться СН 245-71, ГОСТ 12.1.005—76, а также указаниями по проектированию санитарно-технических устройств основных цехов и отделений заводов огнеупоров СН 155-61 и Временными указаниями по расчету объемов аспирационного воздуха от укрытий мест перегрузок при транспортировании пылящих материалов (серия А3-611, Сантехпроект, 1973).

В теплый период года в пыльных помещениях, не имеющих теплоизбытков, допускается использование естественного притока через открывающиеся окна. При этом окна должны располагаться на высоте от уровня пола не менее 0,7 м при транспортировании тонкоизмельченных материалов в закрытых конвейерах или в увлажненном состоянии и при постоянно влажных полах. Если полы увлажняются нерегулярно, то может возникнуть опасность взмучивания пыли струями воздуха, поэтому открывающиеся для естественного притока окна должны располагаться на высоте, не менее 1,5 м от пола. При транспортировании сухих тонкоизмельченных материалов на открытых конвейерах расстояние от пола до окна должно быть увеличено до 3,0 м.

При проектировании вытяжной вентиляции в пыльных цехах особое внимание уделяется локализации источников пылевыделения. Воздух от укрытий технологического оборудования, мест пересыпки пылящих материалов и бункеров, как правило, необходимо удалять с помощью аспирационных установок с механическим побуждением и очисткой выбрасываемого в атмосферу воздуха от пыли.

Под аспирацией подразумевают пылеотсасывающую вентиляцию, имеющую специфические особенности и удаляющую воздух, содержащий значительные количества пыли (свыше 1000 кг/м^3). Пылеотсасывающая местная вентиляция, не имеющая наклонных воздуховодов, обычно аспирацией не называется, хотя и имеет с ней много общего. Объем воздуха, удаляемый от укрытия с помощью аспирации, складывается из объема воздуха, вносимого в укрытие поступающим через загрузочную течку материалом, и дополнительного объема воздуха, подсасываемого через неплотности укрытия для предотвращения выбивания через них пыли в помещение. Объем воздуха L, м^3/ч, вносимого в укрытие материалом, поступающим через загрузочные течки, зависит от конструкции укрытия, расхода и скорости движения поступающего через течку материала, и определяется по формуле

$$L_м = 0{,}12 K_у G_м v^2_м, \qquad (V.2)$$

где $K_у$ — коэффициент, зависящий от конструкции укрытия, принимается равным 1, 2—3; $G_м$ — расход пылящего материала, загружаемого через течку, м^3/ч;

$v_м$ — скорость, м/с, движения материала при входе в укрытие из загрузочной течки, составляющая

$$v_м = \sqrt{19{,}62\,H(1-1{,}2\,f_м \mathrm{ctg}\alpha)}, \qquad (V.3)$$

где H — высота падения материала в загрузочной течке, м, не учитывающая высоту его падения в оборудовании и укрытии; $f_м$ — коэффициент трения материала о поверхность течки, обычно принимаемый для сухой земли, цемента и щебня равным 0,5, для песка и шлака — 0,6, для гравия, глины и сырой земли — 0,8; α — угол наклона загрузочной течки к горизонтали, град.

Объем воздуха $L_н$, м³/ч, подсасываемого через неплотности в укрытиях бункеров и аспирируемых укрытий дробильно-сортировочного оборудования, вычисляется по формуле

$$L_н = 3600 F_н u_н, \qquad (V.4)$$

где $F_н$ — площадь неплотностей в укрытии, м²; $u_н$ — минимальная скорость движения воздуха в неплотностях и проемах, м/с, принимаемая в зависимости от характера пылеобразования и степени токсичности пыли (см. Временные указания. Серия А3-611).

При проектировании вентиляции в помещениях с токсическими пылевыделениями нельзя механически пользоваться санитарными нормами. Место подачи приточного воздуха необходимо выбирать на основе тщательного анализа явлений, происходящих в воздушной среде помещения. Иногда при токсических пылевыделениях наиболее целесообразной может оказаться подача приточного воздуха на постоянные рабочие места с помощью воздушных душей, особенно если в помещении имеются восходящие тепловые потоки, выносящие наиболее мелкую (самую активную и опасную для человека) пыль в верхнюю зону.

Проектирование пылеотсасывающей вентиляции и аспирации должно базироваться на знании проектировщиком технологического процесса, а именно: где, отчего и при каких условиях выделяется пыль, каковы ее фракции и химический состав, смачивается ли пыль водой, где имеются зоны повышенного давления в укрытиях и каково направление пылевого факела, имеются ли воздушные и конвективные токи вблизи источника пылевыделения и т. д. Только в этом случае можно запроектировать рациональную конструкцию пылеприемника или укрытия, правильно расположить приточные и вытяжные вентиляционные отверстия.

В качестве примера рассмотрим проект вентиляции цеха по производству крупноразмерной глазурованной фасадной плитки на Кучинском комбинате керамических облицовочных материалов, разработанный институтом Моспроектстройиндустрия. Цех состоит из отделений переработки сырья, прессового, сушильного, конвейерных линий и склада готовой продукции. В приготовительном отделении производятся загрузка смесителей и приготовление массы. Основными производственными вредными выделениями в отделении является пыль глины и керамического порошка. В прессовом и сушильном отделениях происходит формовка, термообработка и сушка изделий. Затем конвейерными линиями изделия транспортируются на склад готовой продукции. Основными производственными вредными выделениями в этих отделениях также

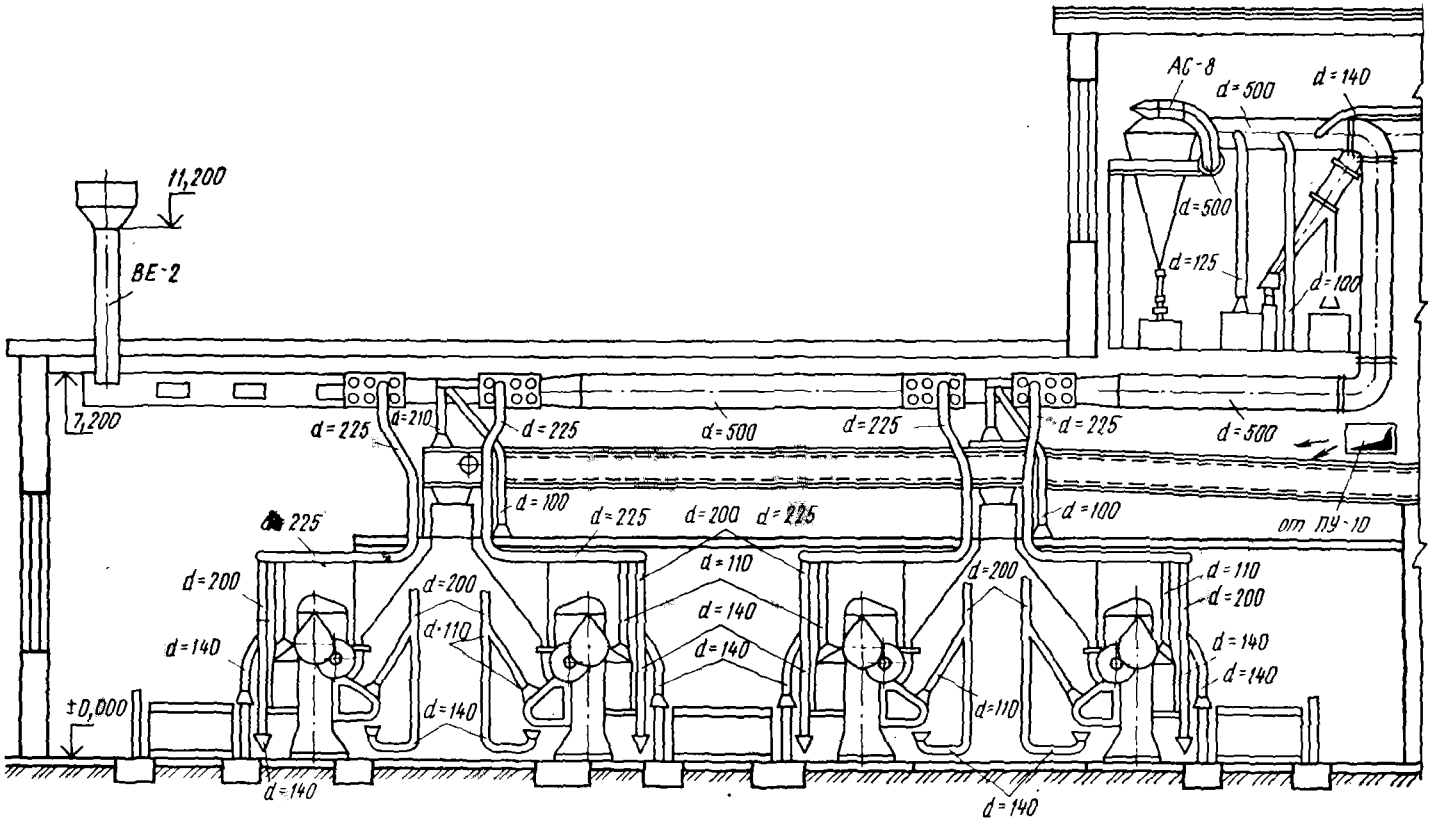


Рис. V.4. Вентиляция цеха по производству крупноразмерной глазурованной плитки

является пыль керамического порошка. Кроме того, в помещениях конвейерных линий имеются теплоизбытки.

Для удаления запыленного воздуха из мест пересыпок, бункеров и прессов в цехе запроектированы аспирационные системы с коллекторами и двуступенчатой очисткой воздуха — в сухих циклонах СИОТ и циклонах-промывателях ЦВП. После циклонов СИОТ уловленная пыль возвращается в производство, а запыленный воздух поступает на вторую очистку в циклон с водяной пленкой. Очищенный воздух выбрасывается в атмосферу, а шлам после циклонов ЦВП поступает в отстойник и также возвращается в производство. Всего в цехе запроектировано шесть аспирационных установок, общей производительностью 50 200 м³/ч. От местных отсосов глазурованных машин удаляется воздух в объеме 9200 м³/ч. Подача приточного воздуха предусматривается в верхнюю зону во всех отделениях цеха, а в отделениях сушильном и конвейерных линий, где имеются теплоизбытки, приточный воздух частично подается и в рабочую зону. В теплый период года в помещении этого отделения дополнительно предусматривается вентиляция с помощью открывающихся нижних фрамуг окон и установленного на крыше дефлектора. В холодный период года для предупреждения врывания холодного воздуха через ворота на складе готовой продукции и в приготовительном отделении запроектирована установка воздушнотепловых завес. На рис. V.4 показан разрез цеха по производству крупноразмерной глазурованной керамической плитки.

V.4. Вентиляция предприятий пищевой промышленности

Вентиляция на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания служит для создания надлежащих условий труда на производстве, способствующих выпуску высококачественной продукции, а также нормальных условий теплового микроклимата в помещениях. Большое внимание на предприятиях пищевой промышленности уделяется чистоте приточного воздуха, особенно в тех помещениях, где находится готовая пищевая продукция, потребляемая без предварительной термической обработки или мойки. В этих случаях очистка приточного воздуха является технологическим требованием. Также технологическими требованиями обусловлено применение в некоторых производственных помещениях установок кондиционирования воздуха, позволяющих поддерживать требуемую температуру и влажность на отдельных технологических линиях и конвейерах, а также в складских помещениях. Пищевое производство обычно малошумное, поэтому приточные и вытяжные вентиляционные установки рекомендуется сосредоточивать в изолированных помещениях, предусмотрев отдельные входы в приточные и вытяжные камеры.

При проектировании вентиляции на предприятиях пищевой промышленности, помимо общих норм проектирования, необхо-

димо пользоваться специальными нормами на проектирование предприятий общественного питания СНиП II-Л.8-71, а также «Рекомендациями по расчету систем вентиляции и кондиционирования воздуха в горячих цехах предприятий общественного питания» (М.: Стройиздат, 1975) и рекомендациями, изложенными в Бюллетене сантехники, 1977, № 11).

Воздухообмен, необходимый для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в рабочей или обслуживаемой зоне помещений, рассчитывается на основании количества избыточной теплоты, влаги и вредных веществ, выделяющихся в помещениях предприятий пищевой промышленности, с учетом неравномерности их распределения, а также удаления воздуха из рабочей зоны местными отсосами, общеобменной или технологической вентиляцией.

Основными вредными выделениями на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания, как правило, являются избытки теплоты и влаги, а также пыль. Вредные газы и пары на этих предприятиях выделяются довольно редко, исключением является витаминное производство, технология которого близка к технологии химического производства.

Главными источниками тепловыделений на предприятиях пищевой промышленности являются печи и варочные аппараты. Теплота выделяется также от трубопроводов, механизмов и остывающей продукции. Несмотря на то что отдельные помещения предприятий пищевой промышленности характеризуются наличием значительных теплоизбытков, аэрация здесь неприемлема. Это связано прежде всего с повышенными требованиями к чистоте и обеспыливанию приточного воздуха. Вентиляция предприятий пищевой промышленности обычно приточно-вытяжная с механическим притоком и смешанной вытяжкой.

В помещения с теплоизбытками приточный воздух рекомендуется подавать в рабочую зону с помощью воздухораспределителей, вытяжку осуществлять из верхней зоны. В виде исключения в печных и варочных отделениях вытяжка может производиться естественным путем через дефлекторы или шахты. При этом необходимо позаботиться об отводе конденсата во избежание образования капели из шахт и о защите вытяжных отверстий с помощью сеток от мух и других насекомых.

В больших по объему помещениях приточный воздух можно подавать сосредоточенными струями. В помещениях с пылевыделением подачу приточного воздуха рекомендуется осуществлять в верхнюю зону через перфорированные панели. Как показывает практика, равномерное распределение приточного воздуха через перфорированные потолки особенно эффективно в помещениях высотой 3—5 м при подаче приточного воздуха в значительных количествах.

Большую роль в вентиляции предприятий пищевой промышленности играет местная вентиляция. У печей и варочных котлов, где

постоянно находятся работающие, необходимо предусматривать воздушное душирование.

В некоторых случаях по требованию технологии осуществляется искусственный обдув холодным воздухом пищевой продукции (например, на охлаждающих транспортерах для шоколада, карамели, печенья и т. д.). Если после этого конечная температура охлаждающего воздуха будет ниже температуры воздуха помещения, то технологический воздух можно использовать для общеобменной вентиляции помещения. В помещениях предприятий пищевой промышленности, обслуживаемых системами кондиционирования воздуха, следует предусматривать рециркуляцию воздуха. Последнюю рекомендуется осуществлять в холодный и переходный периоды года при общеобменной вентиляции, если только в обслуживаемых помещениях нет вредных выделений или неприятных запахов.

Большинство источников выделения теплоты, влаги и пыли на предприятиях пищевой промышленности оборудованы местными отсосами в виде зонтов, завес и укрытий. Влага в помещение в основном поступает от остывающей продукции, в результате прорывов пара в местах неплотных соединений технологического оборудования и нарушений в работе местных отсосов. Борьба с пылью является наиболее сложной задачей на предприятиях пищевой промышленности. До настоящего времени она полностью не решена. Объясняется это главным образом все еще значительной долей применения в этой отрасли ручного труда, а также практической невозможностью использования (по аналогии с предприятиями строительной индустрии) увлажнения материалов и гидрообеспыливания.

Загрузка и разгрузка сыпучих материалов (мука, сахар, крахмал и т. д.) часто производится ручным способом, что исключает применение местных отсосов. При проектировании вентиляции места пересыпок материалов необходимо оборудовать специальными укрытиями, а также локализировать с помощью вытяжной вентиляции места приготовления сахарной пудры из сахарного песка. Применяемые обычно для этой цели молотковые микромельницы должны быть оборудованы индивидуальными матерчатыми фильтрами, а рабочие — средствами индивидуальной защиты (респираторами). Следует отметить, что сахарная пудра не поддается механической и пневматической транспортировке и не может длительное время храниться в бункерах. Пыльными операциями являются также размол, транспортировка и расфасовка порошка какао, муки и т. п.

Пыль на предприятиях пищевой промышленности, как правило, является ценным материалом, пригодным к вторичному использованию. Его необходимо возвращать и утилизировать. Для улавливания сахарной, мучной и другой пыли обычно применяют рукавные матерчатые фильтры. При проектировании аспирационных систем, удаляющих пыль сахара, муки и какао, нужно помнить, что эта пыль взрывоопасна. Особенно это относится к сахарной

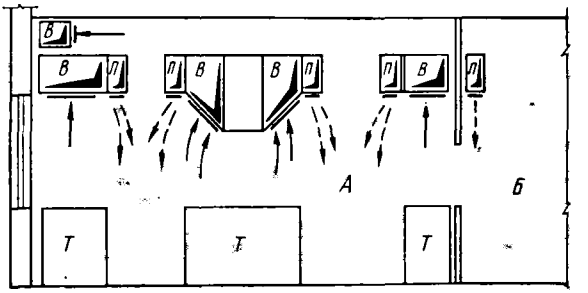


Рис. V.5. Схема вентиляции пищеблока, оборудованного комбинированными приточно-вытяжными устройствами

А — кухня; *Б* — обеденный зал; *П* — приточный воздуховод; *В* — вытяжной воздуховод; *Т* — технологическое оборудование

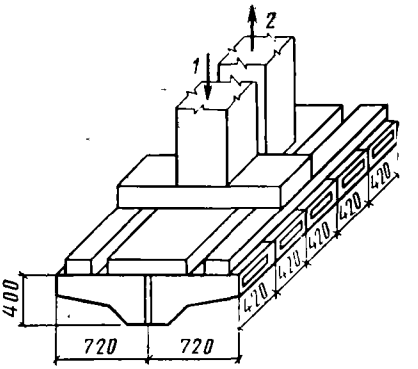


Рис. V.6. Конструкция кухонного модульного отсоса МВО-420

1 — приток; *2* — вытяжка

пыли. Поэтому при проектировании аспирационных систем следует руководствоваться правилами для систем, извлекающих взрывоопасную пыль.

На предприятиях общественного питания (столовые, рестораны, фабрики-кухни и т. п.) горячие цеха (кухни) относятся к помещениям со значительными теплоизбытками. При подсчете тепловыделений от кухонного технологического оборудования необходимо учитывать коэффициенты одновременности его работы и загрузки. Согласно СНиП II.Л.8-71, расчетные тепловыделения в залах этих предприятий принимаются из расчета 116 Вт от одного посетителя (в том числе 29 Вт скрытой теплоты от пищи).

При проектировании общеобменной вентиляции в залах рекомендуется принимать превышение притока над вытяжкой в размере не менее двух объемов помещений горячего цеха (кухни) и моечных. В кухнях, в помещениях для выпечки кондитерских изделий и в моечных вытяжка должна превышать приток не менее чем на два объема этих помещений. На предприятиях с обслуживанием официантами приточный воздух в кухню рекомендуется подавать в размере 35 % через помещение раздаточной и 65 % непосредственно в кухню. Вытяжка воздуха из кухни и раздаточной осуществляется только через кухню. Приточный воздух в кухню и в помещение для выпечки кондитерских изделий рекомендуется подавать в рабочую зону, во все остальные помещения — в верхнюю зону.

В последние годы местная вентиляция на предприятиях обще-

ственного питания была удачно решена с помощью приточно-вытяжных локализирующих устройств. Основная особенность этих комбинированных устройств заключается в том, что приточный воздух подается в рабочую зону в непосредственной близости с местным отсосом от кухонной плиты, при этом приточный воздух перекрывает рабочий проем у плиты воздушной завесой, препятствуя распространению вредных выделений по всему помещению (рис. V.5). ЦНИИЭП инженерного оборудования разработал конструкции модульных вытяжных отсосов (МВО-420, МВО-840), которые в настоящее время широко внедряются на действующих и строящихся предприятиях общественного питания. На рис. V.6 приведена конструкция модульного отсоса МВО-420.

V.5. Вентиляция зрительных и спортивных залов

Схема вентиляции зрительных и спортивных залов в значительной степени определяется принятым объемно-планировочным решением и спецификой зала. Расчет воздухообменов залов, как правило, производится по теплоизбыткам с учетом 100 %-ного заполнения помещения зрителями. Следует отметить, что из-за специфических особенностей некоторых спортивных залов (для игры в хоккей; для фигурного катания) в зоне действия спортсменов требуется создание теплового микроклимата, значительно отличающегося от того, который является благоприятным для зрителей. Естественно, этого проще добиться, если предусмотреть в объемно-планировочном решении зала определенные конструктивные мероприятия, например, углубление арены по отношению к амфитеатру.

При проектировании вентиляции в зрительных и спортивных залах следует так располагать приточные и вытяжные отверстия, чтобы обеспечить равномерное распределение приточного воздуха в обслуживаемой зоне. В этих залах обычно проектируют механическую приточную вентиляцию, часто совмещая ее с воздушным отоплением. При технико-экономическом обосновании для обеспечения комфортных условий в залах могут быть запроектированы системы кондиционирования воздуха. Вытяжная вентиляция в залах предусматривается механическая или естественная из верхней зоны.

С целью экономии теплоты в холодный и переходный периоды года и холода в летнее время в зрительных и спортивных залах рекомендуется предусматривать рециркуляцию воздуха. Исключение может быть сделано только для помещений плавательных бассейнов с хлорированной водой, где рециркуляция воздуха обычно не применяется.

Проектируемые воздухораспределительные устройства должны равномерно распределять приточный воздух в обслуживаемой зоне и препятствовать созданию застойных участков в помещении. Применяемая в некоторых залах сосредоточенная подача приточного воздуха позволяет экономично и эффективно решать вопросы

вентиляции обслуживаемой зоны, но иногда способствует образованию повышенной подвижности воздуха в отдельных местах зала. Следует отметить, что повышенная скорость воздуха в обслуживаемой зоне бассейнов может вызвать не только неблагоприятные ощущения у зрителей и спортсменов, но и увеличить количество испаряющейся влаги с поверхности воды. В больших зрительных и спортивных залах предпочтительнее проектировать рассредоточенную подачу приточного воздуха.

При наличии перепада температур по высоте зала наиболее рациональной является вентиляция по схеме «снизу — вверх». По этому принципу запроектирована вентиляция во многих спортивно-зрелищных залах. В качестве примера можно привести Дворец спорта в Лужниках, где приточный воздух в объеме 76 000 м³/ч подается от 10 кондиционеров в зал вертикальными фонтанирующими струями через решетки, установленные по бокам входных проемов, а вытяжка осуществляется естественным путем через центральный фонарь. Вентиляция крытого олимпийского велотрека в Крылатском решена подобным же образом, только приточный воздух нагнетается в подтрибунное пространство и через оборудованные специальными щитками (во избежание дутья) отверстия в креслах поступает в зал. Вытяжка из помещения велотрека осуществляется естественным путем через шахты. Естественная вентиляция позволяет создавать в залах небольшое избыточное давление, вследствие чего уменьшается инфильтрация наружного воздуха, а также перетекание воздуха из смежных помещений.

Вентиляцию по схеме «снизу — вверх» в настоящее время проектируют французские инженеры в новом оперном театре, который будет строиться в Париже. Приточный воздух будет поступать от кондиционеров в зрительный зал через отверстия, расположенные под креслами зрителей, а также в оркестровой яме и в нескольких точках сцены, а вытяжка будет производиться через отверстия в потолке. В задании на проектирование оперного театра особенно жесткие требования предъявляются к тепловому микроклимату на сцене, так как, по мнению французских врачей-гигиенистов, оперные певцы очень чувствительны к малейшему сквозняку: скорости воздуха свыше 0,1 м/с воспринимаются ими как неприятные, а при подвижности воздуха 0,03 м/с и менее им становится душно и жарко.

Вентиляция по схеме «снизу — вверх» хорошо зарекомендовала себя в зале филармонии в Западном Берлине. Приточный воздух там подается через специально сконструированные решетки под креслами (рис. V.7). Из приточного воздуховода, расположенного под трибуной, воздух через отверстие *4* поступает под кресло. Для предотвращения горизонтальных потоков, действующих на ноги, и уменьшения аэродинамического шума воздухораспределительное устройство под креслом имеет отражающие пластины *1* и *3*, облицованные звукопоглощающими материалами, и перфорированную панель *2*.

Следует отметить, что вентиляция зрительных и спортивных

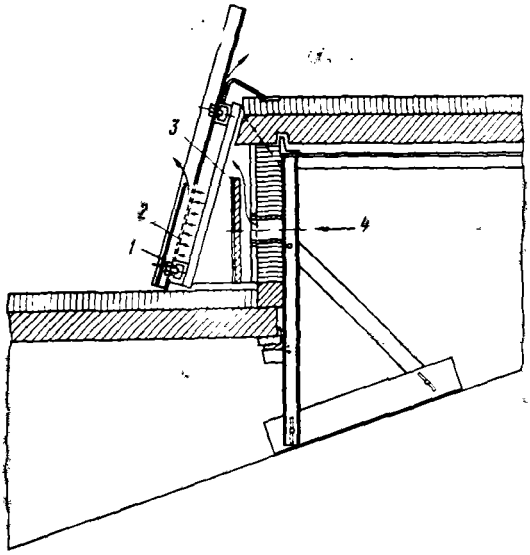
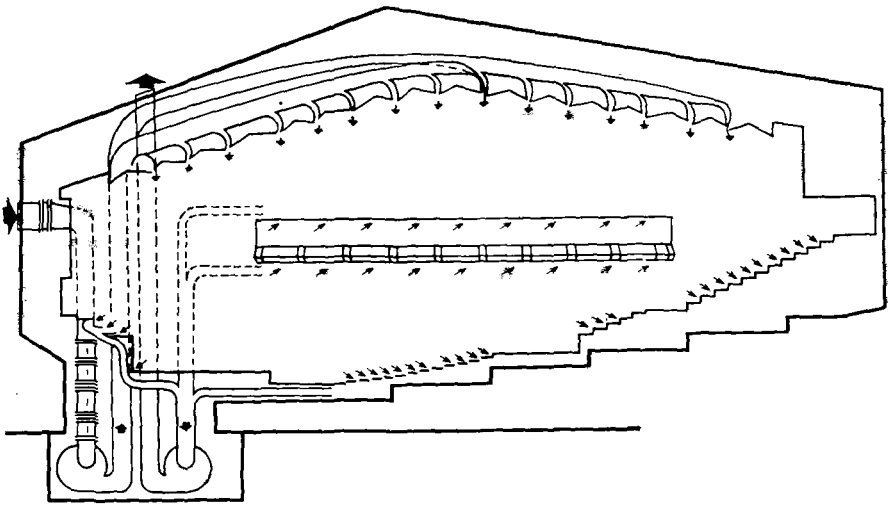


Рис. V.7. Воздухораспределительное устройство в зале филармонии в Западном Берлине

Рис. V.8. Схема вентиляции концертного зала в г. Роттердаме (Голландия)



залов по схеме «снизу — вверх» способствует движению вверх пыли, что крайне нежелательно, при этом возникает необходимость регулярной чистки приточных решеток.

В то же время в нашей стране и за рубежом при проектировании спортивно-зрелищных залов часто применяется вентиляция по схеме «сверху — вниз» с раздачей приточного воздуха в верхней части зала и механической рассредоточенной вытяжкой внизу. Опыт эксплуатации этих залов в нашей стране и за рубежом показывает, что схема «сверху — вниз» имеет много положительных качеств по сравнению со схемой «снизу — вверх». Так, пыль остается на полу и не разносится по залу, отпадает необходимость частой чистки приточных отверстий в потолке, так как их размеры

могут быть больше, а число меньше, уменьшается аэродинамический шум от воздухораспределительных устройств и т. д. Градиент температур по высоте зала при схеме вентиляции «сверху — вниз» может иметь отрицательное значение, а подвижность воздуха в обслуживаемой зоне на уровне головы может быть выше, чем при схеме «снизу — вверх».

Иногда в зрительных и спортивных залах при подаче приточного воздуха сверху вытяжка может осуществляться не только через напольные решетки под креслами, но и частично из средней зоны зала. На рис. V.8 приведена схема вентиляции концертного зала в голландском городе Роттердаме, где подача приточного воздуха происходит рассредоточенно с помощью регулируемых воздухораспределителей, а удаление воздуха осуществляется из нижней и средней зон зала.

Для обеспечения равномерных полей температур и скоростей в обслуживаемой зоне при подаче воздуха сверху вниз хорошо зарекомендовали себя воздухораспределители потолочного типа. В зависимости от конструкции и способа установки потолочные воздухораспределители — плафоны могут образовывать конические или веерные струи. Универсальные потолочные воздухораспределители типа ВДУМ и ВДМП могут быть отрегулированы на раздачу воздуха струями различного типа — от направленной вниз вертикальной цилиндрической струи до веерной осесимметричной струи, настилающейся на потолок. Воздухораспределители потолочного типа получили большое распространение в системах кондиционирования воздуха зрительных и спортивных залов.

В обеспечении теплового микроклимата в залах с большой площадью остекления в наружных ограждениях важную роль играют воздухораспределители. Сравнительно низкий коэффициент термического сопротивления стеклянных ограждений способствует возникновению ниспадающих холодных воздушных потоков и конденсации влаги на остекленных поверхностях. Чтобы исключить запотевание световых проемов и возникновение сквозняков, остекленные витражи рекомендуется обдувать снизу вверх теплым воздухом. Особенно широкое применение этот прием нашел в помещениях плавательных бассейнов, где полуограниченные воздушные потоки вдоль остекленных поверхностей защищают от сквозняков и конденсации, при этом благодаря их наличию решается задача вентилирования помещения.

В зрительных и спортивных залах, особенно если конфигурация зала близка к квадрату, иногда применяют схему вентиляции с двусторонней боковой рассредоточенной подачей приточного воздуха, с вытяжкой через отверстия в потолке и рециркуляцией через отверстия в торцовой стене. При наличии в зале балкона и гладкого потолка приточный воздух рекомендуется подавать через отверстия, расположенные в торцовой стене над и под балконом, а вытяжку осуществлять со стороны сцены на двух уровнях: из верхней зоны наружу и из нижней зоны на рециркуляцию.

При проектировании зрительных залов кинотеатров вмести-

мостью 800—1000 человек и более рекомендуется применять рассредоточенную подачу воздуха. Рассмотрим проект вентиляции двухзального кинотеатра на 1100 мест, разработанный МНИИТЭП ГлавАПУ Москвы. По этому проекту в Москве в последние годы построены такие кинотеатры, как «Будапешт», «Байконур», «Таджикистан», «Кунцево» и др. При разработке проекта вентиляции кроме СНиП II-33-75* и ГОСТ 12.1.005—76 использовался СНиП II-73-76 «Кинотеатры».

В большом зале кинотеатра, рассчитанном на 800 мест, запроектирована система воздушного отопления, совмещенная с кондиционированием воздуха. С целью экономии теплоты в холодный период года и холода в теплое время система кондиционирования работает с 50 %-ной рециркуляцией внутреннего воздуха, в ночное время кондиционер в зале работает только на рециркуляцию. Объем приточного воздуха, поступающего в зал, определен по летнему режиму из условия ассимиляции теплопоступлений от людей и солнечной радиации. Воздухопроизводительность кондиционера составляет 40 000 м^3/ч.

В теплый период года приточный воздух фильтруется, охлаждается и осушается в поверхностных воздухоохладителях. Температура приточного воздуха регулируется датчиками температуры в зрительном зале, регулирование влажности в летнем режиме не предусмотрено, так как во всем диапазоне параметров наружного воздуха относительная влажность не выходит за пределы нормируемой: $\varphi = 50 \pm 5\%$. В холодный период года приточный воздух фильтруется, подогревается в калориферах I подогрева, увлажняется в оросительной камере, работающей в адиабатическом режиме, догревается в калориферах II подогрева и поступает в зал. Размеры зала составляют: длина 33 м, ширина 24 м, средняя высота 12 м. Схема кинотеатра приведена на рис. V.9.

Подача воздуха от кондиционера запроектирована скоростными компактными струями, выходящими из равномерно распределенных по боковым сторонам зала приточных отверстий на высоте 5—8 м от уровня кресел зрителей. Скорость выхода приточного воздуха из конусных насадков составляет 6,5 м/с. Удаление вытяжного воздуха предусмотрено с помощью естественной вытяжки, запроектированной под потолком зрительного зала. Воздушные клапаны в вытяжной шахте отрегулированы так, что естественная вытяжка работает только при наличии небольшого избыточного подпора в зале, создаваемого системой кондиционирования. Рециркуляция в зале осуществляется через отверстия за экраном, расположенным на высоте 2,5 м от уровня пола эстрады. Как показала инструментальная проверка, подвижность воздуха в обслуживаемой зоне большого зала кинотеатра не превышала 0,3 м/с.

Вентиляция малого зала (на 300 мест) запроектирована так: подача воздуха производится приточной системой с механическим побуждением, вытяжка из зала осуществляется естественным путем через шахту с клапаном, открывающимся при наличии небольшого подпора в зале. Рециркуляция воздуха составляет 50 %. Про-

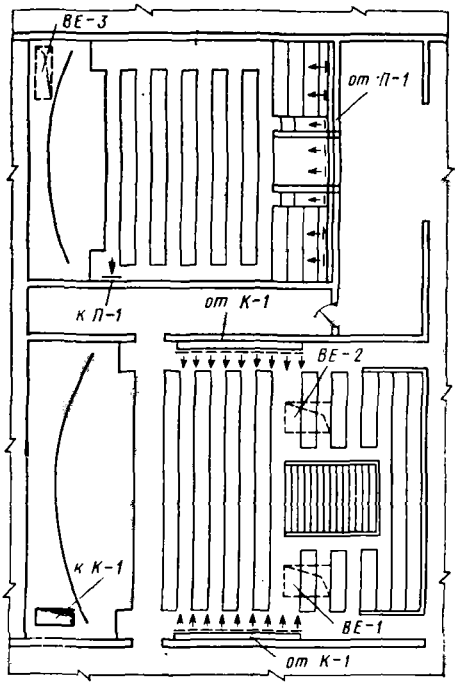


Рис. V.9. Схема вентиляции зрительных залов кинотеатра

изводительность приточной системы равна 18 500 м³/ч, что обеспечивает 5-кратный воздухообмен помещения зала. Объем поступающего наружного воздуха на одного человека в зале составляет 30 м³/ч. Воздухораздача в малом зале запроектирована со стороны кинопроекционной под потолком зала струей, настилающейся на потолок. Скорость выхода воздуха из насадков принята 3 м/с. Воздухораспределительный воздуховод задекорирован архитектурной решеткой.

Для вестибюлей большого и малого залов запроектирована одна общая приточная система воздухопроизводительностью 15 880 м³/ч. Рециркуляция воздуха в вестибюлях большого и малого залов не предусмотрена. Воздух из фойе удаляется через смежные помещения, имеющие только вытяжку: санузлы, курительные комнаты, буфет, а также через неплотности оконных витражей. Небольшое избыточное давление воздуха в фойе (меньше избыточного давления воздуха в зрительных залах) препятствует неорганизованному притоку наружного воздуха. Как показало обследование, тепловой микроклимат в малом зале и фойе полностью соответствовал требованиям санитарных норм.

V.6. Вентиляция помещений с повышенными требованиями к чистоте воздуха

В электронной, микробиологической, фармацевтической и некоторых других отраслях промышленности отдельные технологические операции необходимо выполнять при повышенной чистоте

воздуха помещения. Такие помещения называют чистыми помещениями. Класс чистоты воздуха в чистых помещениях нормируется, как правило, отраслевыми стандартами, определяется технологическими требованиями и зависит от количества в 1 л воздуха частиц пыли размером 0,5 мкм. При уточнении класса чистоты воздуха задаются верхним пределом запыленности воздуха помещения.

Чистым рабочим местом называется рабочий стол или часть чистого помещения, в котором обеспечивается более низкий уровень запыленности, например, вследствие подачи фильтруемого воздуха, устройства боксов и т. д. В чистых помещениях могут быть предусмотрены определенные меры для защиты воздуха от загрязнения: рабочая одежда из искусственных волокон, дверные тамбуры, устройства для очистки обуви и т. п.

Вентиляция чистых помещений обычно осуществляется по схеме «сверху — вниз». Приточный воздух предварительно проходит очистку в фильтрах. Для сокращения эксплуатационных затрат и снижения нагрузки на высокоэффективные фильтры тонкой очистки перед ними рекомендуется устанавливать фильтры грубой очистки. Необходимо, чтобы как в самих фильтрах, так и между ячейками не было зазоров для прохода неочищенного воздуха. Приточный воздух в чистых помещениях целесообразно раздавать равномерно по всему сечению помещения, избегая возникновения возвратных воздушных течений.

В чистых помещениях высотой 2,5—4 м хорошо зарекомендовали себя безвихревые воздухораспределители БВВ, разработанные ВНИИ охраны труда (рис. V.10). Пропускная способность БВВ составляет 2400 м^3/ч, а потери давления без учета сопротивления фильтров равны 100 Па. Скорость выхода приточного воздуха из воздухораспределителя БВВ должна быть не менее 0,22 м/с, что соответствует расходу воздуха 800 м^3/ч на 1 м^2 площади пола; при этом скорость движения воздуха на расстоянии до 3,5 м от воздухораспределителя равна начальной.

Максимальная ширина ядра струи b_x, м, в пределах которого на расстоянии x от воздухораспределителя БВВ сохраняется такая же концентрация пыли, как в приточном воздухе, определяется по формуле

$$b_x = b_0(1 - x/l), \qquad (V.5)$$

где b_0 — ширина воздушного потока на выходе, м; l — максимальная длина ядра начальных концентраций, м.

При начальной концентрации частиц пыли размером 0,5 мкм и более в воздухе, выходящем из воздухораспределителя, 2—3 частицы на 1 л и запыленности окружающей среды 500 частиц на 1 л максимальная длина ядра начальных концентраций составит:

$$l_x = 3{,}5b_0. \qquad (V.6)$$

В зоне действия безвихревого воздухораспределителя БВВ в помещении при общей запыленности до 2000 частиц на 1 л и размере частиц пыли 0,5 мкм и более можно снизить запыленность

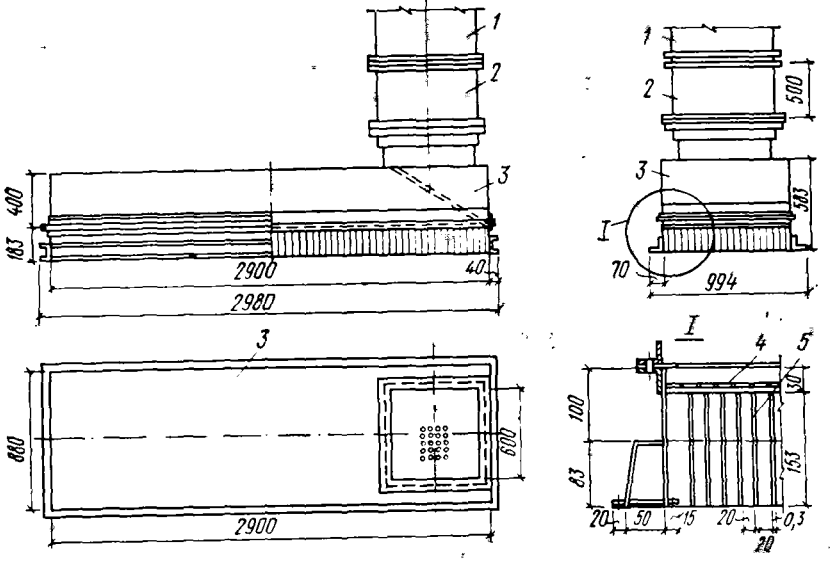


Рис. V.10. Безвихревой воздухораспределитель БВВ

1 — подводящий воздуховод; *2* — фильтр тонкой очистки; *3* — напорный короб; *4* — перфорированный лист; *5* — решетка

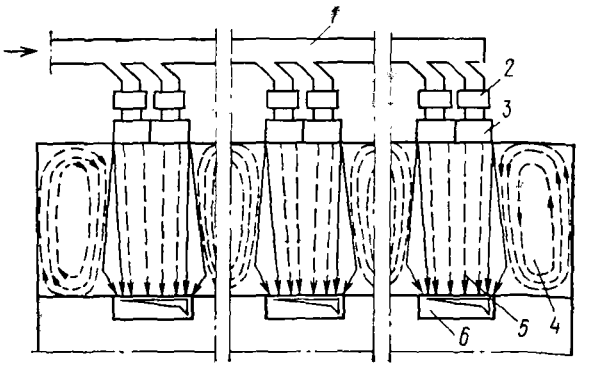


Рис. V.11. Схема воздушных потоков в помещении при действии воздухораспределителей БВВ

1 — приточный воздуховод; *2* — фильтр; *3* — воздухораспределитель; *4* — зона обратных токов; *5* — чистая зона; *6* — вытяжной воздуховод

воздуха при отсутствии работающих до 2—3 частиц/л, при наличии двух работающих до 5—10 частиц на 1 л. Распределение воздушных потоков в помещении при работе БВВ приведено на рис. V.11.

При раздаче приточного воздуха в чистых помещениях через перфорированные потолки и удалении воздуха рассредоточенно через пол можно добиться равномерного ламинарного воздушного потока со скоростью не более 0,25 м/с. Иногда пытаются вентилировать чистое помещение горизонтальным ламинарным потоком, направляя воздух от одной стены, составленной из высокоэффективных фильтров и выполняющей роль приточного воздухораспределительного устройства к месту вытяжки у противоположной стены. Но, как показали испытания, более равномерная степень очистки достигается при вертикальном ламинарном потоке, хотя в этом случае площадь встроенных в потолок фильтров больше, чем при

горизонтальном потоке. По мнению многих специалистов, в чистых помещениях с вертикальным ламинарным воздушным потоком можно даже отказаться от применения специальной одежды и дверных тамбуров. Для направления приточных струй вертикально вниз, толщина стенок перфорированного потолка должна быть в 1,5—2 раза больше диаметра отверстий воздухораспределителей.

В небольших по размерам помещениях применение перфорированных потолков позволяет создавать значительные воздухообмены, при этом обеспечивается требуемая подвижность воздуха в обслуживаемой ими рабочей зоне.

При раздаче приточного воздуха в чистых комнатах через перфорированные потолки снижаются капитальные затраты на воздуховоды, воздухораспределители и решетки, обеспечивается необходимая скорость движения воздуха, удовлетворяются эстетические требования, а при кондиционировании воздуха появляется возможность использования потолка для радиационного отопления и охлаждения помещения.

ГЛАВА VI. НАЛАДКА ВЫТЯЖНЫХ И ПРИТОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

VI.1. Приборы для испытания и наладки систем вентиляции и кондиционирования воздуха

Измерение давления воздуха осуществляют приборами, которые, как правило, классифицируют по двум признакам: виду измеряемой величины и принципу действия. Первый признак определяет характер измеряемой величины — атмосферное, избыточное давление или разрежение (вакуум). В соответствии со вторым признаком приборы подразделяют на жидкостные, мембранные, пружинные, электрические и комбинированные. Все приборы характеризуются классом прочности.

Для измерения атмосферного давления применяется барометр-анероид (рис. VI.1). Принцип действия его основан на свойстве упругих тел изменять свою форму в зависимости от производимого на них давления. Приемником давления в анероиде служит металлическая коробка *1* с волокнистыми поверхностями. В коробке создано разрежение, а для того чтобы атмосферное давление не сплющило ее, крышку коробки плоская пружина *4* оттягивает вверх. При увеличении атмосферного давления коробка сжимается и конец пружины опускается, при уменьшении давления наблюдается обратная картина. К пружине с помощью передаточного механизма *2* прикреплена стрелка-указатель *3*, которая при изменении давления передвигается вправо или влево. Под стрелкой на циферблате нанесены деления, соответствующие показаниям барометра в миллиметрах ртутного столба. Так, число 750, против которого стоит стрелка анероида, показывает, что в данный момент атмосферное давление равно 750 мм рт. ст.

Для уменьшения влияния температуры на величину деформа-

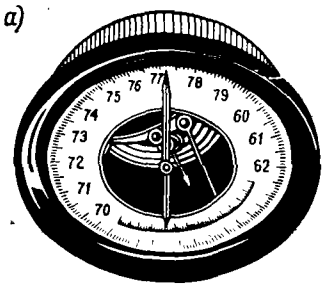


Рис. VI.1. Барометр-анероид
а — общий вид; *б* — схема

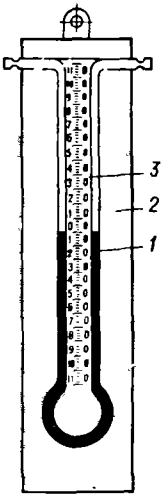
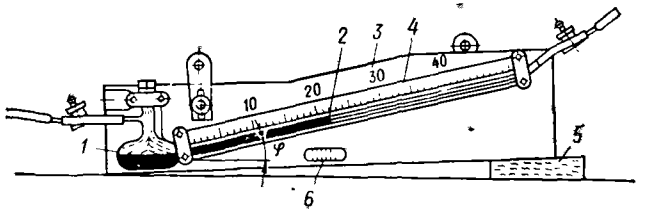


Рис. VI.2. Жидкостной манометр

Рис. VI.3. Тягомер
1 — резервуар с жидкостью; *2* — стеклянная трубка; *3* — основание; *4* — шкала; *5* — клин; *6* — уровень



ции коробки и пружины анероид снабжен специальным температурным компенсатором. Положение стрелки прибора регулируют при поверочных работах регулировочным винтом, расположенным в дне корпуса. Вращая винт, устанавливают стрелку в нужное положение.

При измерении атмосферного давления может использоваться барометрогигрометр (БМ-2). Пределы измерения давления от 700 до 800 мм рт. ст.; допускаемая погрешность ± 5 мм рт. ст. Механизм прибора состоит из узлов барометра, гигрометра и термометра. Чувствительным элементом узла барометра является мембранная барокоробка. При изменении атмосферного давления верхний центр мембранной барокоробки перемещается. Это перемещение с помощью передаточного механизма преобразуется в движение стрелки давления по шкале прибора. В качестве чувствительного элемента узла гигрометра, реагирующего на изменение влажности воздуха, используется капроновая нить. При измерении влажности капроновая нить изменяет свою длину, в результате чего оттянутая середина нити перемещается. Это перемещение передаточным механизмом преобразуется в движение стрелки влажности по шкале прибора. Погрешность при измерении отно-

сительной влажности составляет ±10 %. В качестве измерителя температуры используется жидкостной термометр — толуоловый, который укрепляется на шкале прибора. Допускаемая погрешность при измерении температуры составляет ±1,5 °С.

Баротермогигрометр может устанавливаться на столах, полках и т. п. или подвешиваться в любом месте, удаленном от отопительных приборов или нагретого оборудования и окон на расстоянии около 1 м. Для установки или подвески прибора служит съемная подставка, которая может вставляться в прибор в двух положениях: для установки, для подвески.

Атмосферное давление определяется по положению индекса стрелки давления относительно шкалы давления (верхняя шкала).

Для непрерывного измерения и регистрации атмосферного давления служат барографы. Чувствительным элементом барографа является группа коробок, конструкция которых аналогична конструкции анероида. Число коробок достигает 10 и более. Они располагаются одна над другой, соединяясь с помощью соединительной трубки. Такое число коробок позволяет повысить чувствительность прибора. Вместо упругой пластины, как это сделано в анероиде, внутрь каждой коробки барографа установлена пружина. Нижняя коробка опирается на основание корпуса прибора, а верхняя через рычажный механизм управляет алюминиевой стрелкой с пером, положение которого определяется величиной давления. Перо касается ленты, охватывающей барабан, который в свою очередь приводится в движение часовым механизмом. На диаграммной ленте по горизонтали нанесены деления в миллиметрах ртутного столба, а по вертикали — линия для отсчета времени. Корпус барографа имеет откидную крышку. На дне корпуса размещен винт для установки пера на требуемом делении шкалы диаграммы.

Для измерения давлений, бо́льших или меньших атмосферного, применяют манометры и микроманометры. Приборы, с помощью которых измеряется разность давлений, называются дифференциальными манометрами.

С помощью почти всех жидкостных манометров можно измерять разность давлений и рассматривать их как дифференциальные манометры. Простейший жидкостной манометр (рис. VI.2) представляет собой U-образную стеклянную трубку *1*, закрепленную на деревянной подставке *2*. Между стеклянными трубками размещена шкала *3* с миллиметровыми делениями. В середине шкалы нанесена нулевая отметка, вверх и вниз от которой ведется отсчет. Манометр заполнен подкрашенной водой до нулевой отметки. Разность давлений определяется по расстоянию между менисками в обеих трубках, т. е. сумма отсчета, мм, по шкале (вверх и вниз от нулевой отметки) показывает разность давлений мм вод. ст. или кгс/м^2.

Для уменьшения влияния эффекта капиллярности трубка манометра должна иметь внутренний диаметр не менее 5—6 мм.

Как правило, точность отсчета равна ±0,5 мм, поэтому, сче

тая допустимую ошибку в пределах 3—4 %, манометр рекомендуется применять при измерении давления более 20 кгс/м^2.

Заполняя манометр вместо воды этиловым спиртом или керосином, можно получить более четкий мениск. Благодаря тому что плотность этих жидкостей меньше единицы, точность отсчета повышается и прибор можно применять для измерения разности давлений в 12—15 мм вод. ст.

Истинное давление $p_{ист}$, кгс/м^2, в этом случае следует определять по формуле

$$p_{ист} = p_м \rho_ж, \qquad (VI.1)$$

где $p_м$ — разность уровней жидкостей, замеренная по шкале манометра, мм; $\rho_ж$ — плотность жидкости, залитой в манометр, г/см^3.

При измерении давлений, больших 1000 кгс/м^2, манометр целесообразно заполнять ртутью, $\rho_{рт} = 13{,}6$ г/см^3.

Пример VI.1. Разность уровней ртути в манометре составляет 620 мм. Истинное давление определяют по формуле

$$p_{ист.} = 620 \cdot 13{,}6 = 8432 \text{ мм вод. ст. или кгс/м}^2.$$

Тягомер (рис. VI.3) или чашечный манометр с вертикальной или наклонной шкалой отличается от U-образного манометра тем, что одна трубка заменена резервуаром. Площадь резервуара в 500—700 раз больше площади трубки, т. е. объем резервуара достаточно велик, поэтому снижением уровня жидкости в нем пренебрегают. Отсчет ведется по уровню жидкости в трубке. Точность измерения тягомера с вертикальной шкалой такая же, как и U-образного манометра. Повышения точности измерения достигают применением тягомера с наклонной шкалой (см. рис. VI.3). Благодаря наклону трубки увеличивается длина столба жидкости. В зависимости от угла наклона трубки манометра минимальное давление, которое может быть им замерено, составляет от 1 до 4 кгс/м^2.

Действительное давление, мм вод. ст., измеряемое тягомером с наклонной шкалой, определяют по формуле

$$p_{ист} = l \sin\varphi \rho_ж, \qquad (VI.2)$$

где l — длина столба жидкости в трубке, мм; φ — угол наклона трубки, град; $\rho_ж$ — плотность жидкости, г/см^3.

Пример VI.2. Измеряемая длина столба спирта составляет 30 мм, угол наклона трубки — 11°30 ($\sin\varphi = 0{,}2$), плотность спирта $\rho = 0{,}81$ г/см^3. Действительное давление определяют по формуле

$$p_{ист.} = 30 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}81 = 4{,}86 \text{ мм вод. ст.}$$

При уменьшении угла φ увеличивается длина столба жидкости, т. е. точность измерения.

При измерении давления тягомер устанавливают по уровню. Далее, перемещая шкалу вдоль трубки, нулевое деление шкалы приводят к уровню мениска жидкости в трубке. После этого тягомер подключают к испытуемому объекту и измеряют давление.

Макроманометр — прибор для измерения малых перепадов давления. Принцип действия его аналогичен принципу действия тяго-

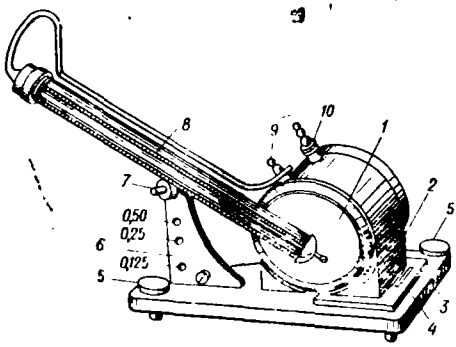


Рис. VI.4. Микроманометр ЦАГИ

1 — резервуар; *2* — обойма; *3* — станина; *4* — уровни; *5* — регулировочный винт; *6* — стойка; *7* — стопорное устройство; *8* — измерительная трубка; *9* и *10* — штуцеры

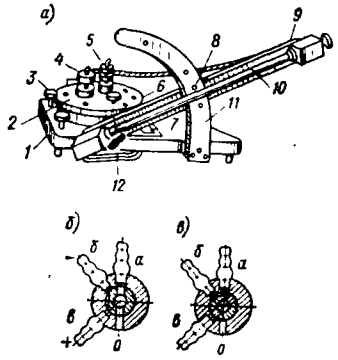


Рис. VI.5. Микроманометр ММН

а — общий вид; *б, в* — схема включения трехходового крана соответственно при контроле нуля и при измерении; *1* — плита; *2* — резервуар; *3* — регулирующий винт; *4* — трехходовый кран; *5* — регулятор нулевого положения мениска; *6* — сливной кран; *7* — уровень; *8* — фиксатор; *9* — кронштейн; *10* — измерительная трубка; *11* — дуга; *12* — пробка

мера, но в отличие от последнего микроманометр обладает конструктивными преимуществами: угол наклона трубки может меняться и фиксироваться в определенных положениях, установка станины прибора осуществляется винтами по уровням и др.

Микроманометр ЦАГИ (рис. VI.4) состоит из закрытого цилиндрического резервуара, вставленного в обойму. Резервуар размещен на станине, оборудованной уровнями и регулировочными винтами. Измерительная трубка расположена в защитном кожухе, верхняя ее часть соединена с металлической трубкой, заканчивающейся штуцером *9*, а нижняя часть — с полостью резервуара, имеющего штуцер *10*. Резервуар свободно вращается вокруг оси, обеспечивая различный угол оси наклона измерительной трубки. Фиксация угла наклона измерительной трубки на стойке осуществляется стопорным устройством. Стойка имеет отверстия с цифрами 0,125; 0,25 и 0,50, соответствующими значениям синусов углов наклона измерительной трубки. Вертикальному положению трубки соответствует значение $\sin\varphi = 1{,}0$ при этом резервуар поворачивается до специального упора.

Давление $p_{\text{ист}}$, замеренное микроманометром ЦАГИ, подсчитывается по формуле

$$p_{\text{ист}} = (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}) \sin\varphi \rho_{\text{ж}} K, \qquad \text{(VI.3)}$$

где $H_{\text{кон}}$ и $H_{\text{нач}}$ — соответственно конечный и начальный отсчет по шкале прибора, мм; φ — угол наклона измерительной трубки прибора, град; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, заправленной в прибор, г/см³; K — тарировочный коэффициент приведенный в паспорте прибора.

Погрешность микроманометра ЦАГИ не превышает $\pm(1-1{,}5)$ % верхнего предела измерения. Перепад давления измеряю

следующим образом. Прибор с помощью уровней устанавливают в горизонтальное положение. Выбирают угол наклона трубки — от максимального ($\sin\varphi=1{,}0$) значения до допустимого. При отключенном микроманометре определяют так называемый начальный отсчет. Подключая к штуцерам *9* и *10* резиновые трубки от приемников давления, записывают показания конечной величины. Микроманометром ЦАГИ измеряют давление от 1 до 160 кгс/м^2.

Пример. VI. 3. Отсчет по шкале прибора составляет $H_{кон}=80$ мм, начальный отсчет $H_{нач}=5$ мм, $\sin=0{,}25$, плотность спирта $\rho=0{,}82$, тарировочный коэффициент $K=0{,}98$. Истинное давление находят по формуле

$$P_{ист.}=(80-5)\,0{,}25\cdot 0{,}82\cdot 0{,}98=15 \text{ кгс/м}^2.$$

Микроманометр ММН наиболее часто применяют при наладочных работах для измерения давления, разряжения и перепада давления неагрессивных газов. Он может применяться также в качестве переносного лабораторного прибора для периодических точных замеров при исследовательских работах и проверки эксплуатационных приборов. Пределы измерения для микроманометра ММН составляют 0—240 кгс/м^2 при статическом давлении 0,1 кгс/см^2. Микроманометры выпускаются классом 0,5 и 1,0. Заполняется микроманометр спиртом с плотностью $\rho=0{,}8095$ г/см^3.

Конструкция прибора показана на рис. VI.5,*а*. Резервуар, герметически закрытый крышкой на резиновой прокладке, укреплен на плите. На крышке смонтированы трехходовой кран, заливочная пробка, закрывающая отверстие для заливки, и регулятор нулевого положения мениска, служащий для установки мениска спирта в измерительной трубке на нулевой риске шкалы. К плите крепится кронштейн с измерительной стеклянной трубкой, снабженной защитным кожухом. Концы измерительной трубки уплотняются сальниками с резиновыми кольцами. Нижняя часть измерительной трубки через штуцер и резиновую трубку сообщается с резервуаром, а верхний ее конец сообщается с трехходовым краном. Измерительная трубка устанавливается так, что ось вращения кронштейна проходит через нуль шкалы. Шкала измерительной трубки имеет длину 300 мм, наименьшее деление шкалы 1 мм. Для установки кронштейна с измерительной трубкой на требуемый угол наклона к плите прикреплена дуга с пятью отверстиями, соответствующими определенным значениям постоянной прибора K (0,2; 0,3; 0,4; 0,6 и 0,8). Кронштейн фиксируется на дуге в необходимом положении с помощью фиксатора, который укреплен во втулке кронштейна. Для установки микроманометра в горизонтальное положение на плите установлено два уровня с цилиндрическими амплитудами. Прибор приводится в горизонтальное положение двумя регулировочными ножками. Микроманометр заполняют спиртом через отверстие в крышке с пробкой, а через сливной кран, расположенный в нижней части резервуара, его сливают. Для измерения прибор подключают резиновыми шлангами, надеваемыми на штуцеры трехходового крана.

Трехходовой кран имеет три штуцера (рис. VI.5,*б*), обозначенных буквами *а*, *б* и *в* и отверстие 0 для сообщения с атмосферой.

Штуцер *а* используется для постоянного соединения крана со стеклянной измерительной трубкой. Каналы в трехходьом кране расположены таким образом, что при повороте его против часовой стрелки до упора резервуар и измерительная труба сообщаются с атмосферой, а отверстия к штуцерам *б* и *в* перекрыты. При этом положении крана осуществляется проверка нуля прибора. При повороте крана по часовой стрелке до упора штуцер *в* сообщается с резервуаром, а штуцеры *а* и *б* сообщаются между собой и с измерительной трубкой. При этом отверстие 0 для сообщения с атмосферой перекрывается. При измерении давления резиновая трубка, идущая от места замера, надевается на штуцер *в*, а при измерении разряжения — на штуцер *б*. При измерении динамического давления плюсовая трубка надевается на штуцер *в*, а минусовая — на штуцер *б*. Действие прибора основано на гидростатическом принципе. При равенстве давления над спиртом в резервуаре и в стеклянной трубке уровень его устанавливается на одном горизонте. Для измерения прибор включают таким образом, чтобы давление над спиртом в резервуаре было всегда больше, чем в измерительной трубке. При этом уровень спирта в резервуаре понижается, а в измерительной трубке повышается.

Пользоваться микроманометром рекомендуется в такой последовательности:

установить прибор на устойчивом столе, плите и т. п.;

отрегулировать регулировочными ножками положение прибора, чтобы в каждом уровне пузырек стоял в центре;

установить кронштейн с измерительной трубкой в крайнее верхнее положение, соответствующее $K=0{,}8$;

повернуть трубку трехходового крана против часовой стрелки до упора;

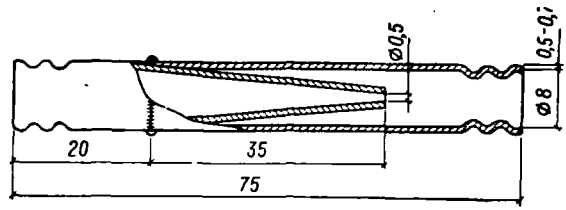
вывернуть из крышки пробку и залить в резервуар этиловый спирт (с плотностью $\rho=0{,}8095\pm0{,}005$ г/см^3) в таком количестве, чтобы уровень его в стеклянной измерительной трубке установился приблизительно против нулевого деления шкалы, а затем поставить на место пробку, затянув ее до отказа;

надеть на штуцер *б* (см. рис. VI.5,*в*) трехходового крана отрезок резиновой трубки и поставить пробку трехходового крана в рабочее положение, поворачивая ее по часовой стрелке до упора, поднять подсосом уровень спирта в стеклянной измерительной трубке примерно до конца шкалы и убедиться в отсутствии воздушных пробок в столбике спирта. В случае обнаружения воздушных пробок выдуть их вместе со спиртом в резервуар;

повернуть пробку трехходового крана против часовой стрелки до упора, поставить кронштейн с измерительной трубкой на необходимый наклон и регулятором уровня окончательно скорректировать нуль;

соединить прибор с объектом измерения и проверить положение прибора по уровням; если прибор сбился, подрегулировать его регулировочными ножками;

Рис. VI.6. Демпфер



повернуть пробку трехходового крана по часовой стрелке до упора и приступить к отсчетам;

во время работы периодически контролировать нуль прибора, ставя трехходовой кран в положение контроля, а также следить за положением прибора по уровням.

Для получения более четкого мениска этиловый спирт, заливаемый в микроманометр, рекомендуется подкрасить метиловым красным красителем метилрот (50 мг на 1 л спирта).

Погрешность показаний прибора не выходит за пределы, указанные в выпускном аттестате, в том случае, если залитый в прибор спирт имеет плотность $\rho = 0{,}8095 \pm 0{,}005$ г/см³.

Для устранения влияния пульсации воздушного потока на положение мениска жидкости в трубке микроманометра применяют демпферы (рис. VI.6), вставляемые в один из резиновых шлангов, соединяющих микроманометр с пневмометрической трубкой.

Давление, измеряемое микроманометром, определяют по формуле

$$p = Hc \sin \varphi \rho_{сп}, \qquad (VI.4)$$

где H — отсчет по шкале прибора, мм; c — тарировочный коэффициент; $\sin \varphi$ — синус угла наклона трубки микроманометра; $\rho_{сп}$ — плотность спирта, г/см³, при температуре 20 °С.

Обычно произведение $c \sin \varphi \rho_{сп}$ обозначается буквой K и называется постоянным множителем прибора. Значения K нанесены на дуге прибора.

Если применяется жидкость с плотностью, отличной от плотности спирта, или температура жидкости $t_ж$ отлична от $t = +20$ °С, то необходимо сделать пересчет полученного результата по следующей зависимости:

$$H = \frac{\rho_ж}{0{,}895} \frac{1}{1 + \beta (t_ж - 20)} H, \qquad (VI.5)$$

где β — коэффициент объемного расширения; для спирта $\beta = 0{,}0011$, для воды $\beta = 0{,}00015$.

Пример VI.4. Отсчет по шкале микроманометра равен 100 мм при постоянном множителе $K = 0{,}2$. Температура воздуха в месте установки прибора 0°, плотность спирта $\rho_{сп}$ при $t = 20$ °С равна 0,83 г/см³.

Проведем пересчет замеренной величины:

$$H = \frac{0{,}83}{0{,}8095} \frac{1}{1 + 0{,}0011 (0 - 20)} 100 \cdot 0{,}2 = 21 \text{ кгс/м}^2.$$

Возможны следующие неисправности микроманометра:

1. Ослабление резиновых трубок на штуцерах.

2. Ослабление пробок трехходового и сливного кранов.
3. Ослабление крепления кронштейна.
4. Пропуск через прокладку крышки резервуара, корпус трехходового крана и отвод под резервуаром.
5. Пропуск через сальник оси регулирующего барабана.
6. Поломка измерительной стеклянной трубки.

Для устранения названных неисправностей применяют следующие способы:

1. Поставить новые трубки.
2. Подтянуть верхнюю гайку на корпусе крана и нижнюю фасонную гайку хвостовика пробки крана.
3. Подтянуть специальную гайку, находящуюся на оси кронштейна между стойкой и резервуаром.
4. Подтянуть соответствующие винты и гайки или поставить новые прокладки.
5. Добавить просаленную асбестовую набивку или заменить всю набивку новой.
6. Заменить поломанную стеклянную трубку в такой последовательности:

сжать пальцами защитный кожух и сдвинуть влево, выведя его из правой колодки; поставить кожух слегка на перекос, чтобы он проходил мимо правой колодки и, вынув его из левой колодки, удалить из прибора;

вывинтить зажимные штуцеры и удалить остатки поломанной стеклянной трубки;

вынуть из гнезд прокладочные и уплотнительные кольца и выдуть сжатым воздухом осколки стекла, которые могли попасть в каналы;

осмотреть резиновые уплотнительные кольца и в случае надобности заменить их новыми;

на новую стеклянную трубку надеть зажимные штуцеры, прокладочные и резиновые кольца, располагая их в последовательности, соответствующей их рабочему положению, и сдвинуть их предварительно к середине трубки;

завести трубку в колодки и установить на свое место уплотняющие детали, при этом зажимные штуцеры завернуть, но не затягивать;

выставить стеклянную измерительную трубку так, чтобы геометрическая ось вращения ее проходила через нуль шкалы, и затянуть зажимные штуцеры. Это необходимо для того, чтобы при переходе с одного наклона на другой уровень спирта не уходил с нуля;

установить защитный кожух, для чего сжать его пальцами и завести поочередно сначала в одну колодку, а затем в другую.

После замены стеклянной измерительной трубки прибор проверяют на плотность при давлении 0,2 кгс/см^2 и на правильность показаний по эталонному прибору. В том случае, когда после замены измерительной стеклянной трубки погрешность показаний прибора выходит за допустимые пределы, его направляют в специализи-

рованную мастерскую по ремонту контрольно-измерительных приборов для переградуировки. Это же относится и к замене на микроманометре поврежденных уровней.

Микроманометры хранят в закрытом помещении при температуре от 0 до +55 °С и относительной влажности не более 90 %. В окружающей среде не должно быть примесей, вызывающих коррозию. При длительном хранении неокрашенные поверхности смазывают техническим вазелином.

В комплект макроманометра ММН, кроме самого прибора, входят:

запасная измерительная трубка	1
шомпол для прочистки трубки	1
прокладки под ножки прибора	3
запасные уплотнительные кольца для измерительной трубки	4
набивка для сальника регулятора нулевого положения мениска	6
футляр	1
инструкция	1
выпускной аттестат	1

В качестве приемников давления применяются пневмометрические трубки. Пневмометрические трубки, используемые в практике вентиляционных измерений, отличаются формой головной части и длиной. Конструкции трубок показаны на рис. VI.7.

Пневмометрическую трубку конструкции ВЦНИИОТ (см. рис. VI.7, *а*) изготовляют из двух спаянных по длине трубок. Одна из них, имеющая полушаровую головку с отверстием посредине, предназначена для измерения полных давлений; другая, имеющая глухой скошенный с двух сторон конец, — для измерений статических давлений. На некотором расстоянии от конца в стенках второй трубки имеются четыре отверстия диаметром 0,5—0,8 мм.

При измерении давления пневмометрическая трубка вводится в воздуховод через специальное отверстие и устанавливается загнутым концом навстречу потоку воздуха. Ось загнутого конца трубки должна быть параллельна потоку воздуха. Полное статическое и динамическое давления в воздуховоде измеряют, как правило, микроманометром ММН, соединенным с пневмометрической трубкой резиновыми шлангами. Схемы присоединения пневмометрических трубок к микроманометру приведены на рис. VI.8.

Полное положительное давление (рис. VI.8,*а*) замеряется пневмометрической трубкой путем присоединения трубки полного давления *1* к штуцеру *2* резервуара микроманометра. Штуцер *3* трубки микроманометра остается открытым; полное отрицательное давление (рис. VI.8,*б*) — путем присоединения трубки полного давления *1* к штуцеру *3* трубки микроманометра при открытом штуцере *2*; статическое положительное давление (рис. VI.8,*в*) — путем присоединения трубки статического давления *4* к штуцеру *2* резервуара микроманометра при открытом штуцере *3*; статическое отрицательное давление (рис. VI.8,*г*) — путем присоединения трубки статического давления *4* к штуцеру *3* трубки микроманометра при открытом штуцере *2*; скоростное (динами-

Рис. VI.7. Пневмометрические трубки

а и *б* — конструкции соответственно ВЦНИИОТ и ГПИ Проектпромвентиляция

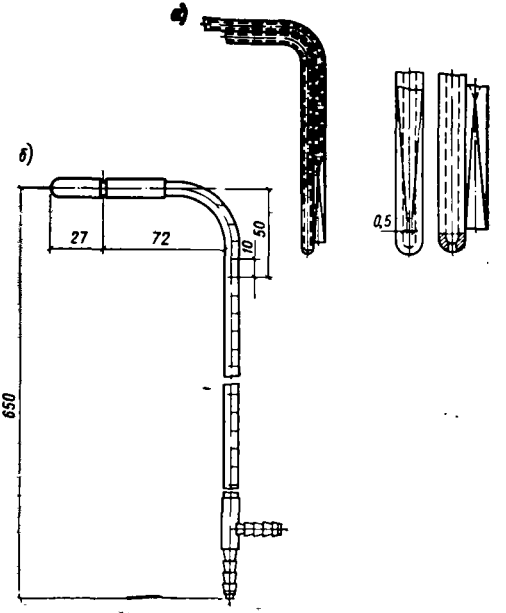
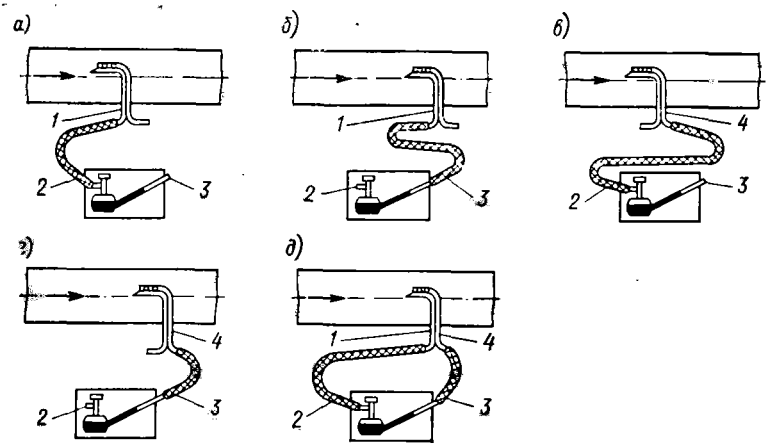


Рис. VI.8. Схемы присоединения пневмометрических трубок



ческое) давление (рис. VI.8,*д*) замеряется при присоединении трубки полного давления *1* к штуцеру *2* резервуара микроманометра, а трубки статического давления *4* к штуцеру *3* трубки микроманометра.

Если микроманометр устанавливается в помещении, находящемся под избыточным давлением или разрежением, то открытый штуцер микроманометра с помощью резинового шланга необходимо сообщить с атмосферой или помещением, где давление равно атмосферному.

Для обеспечения герметичности шланги должны плотно прилегать к штуцерам микроманометра и пневмометрической трубки. Герметичность соединений проверяется следующим образом: подсоединив пневмометрическую трубку к микроманометру, необходи-

мо осторожно подуть в отверстие полного давления; когда уровень спирта в измерительной трубке начнет подниматься, следует пальцем зажать отверстие полного давления пневматической трубки. Если уровень столбика спирта после этого остается неизменным, то соединение — герметично. Аналогично проверяется герметичность соединений, передающих статическое давление. После поддува воздуха в трубку зажимают боковые отверстия для замера статического давления. Неизменность уровня столба спирта в измерительной трубке показывает герметичность соединения.

Неплотности могут быть не только в местах соединений шлангов со штуцерами, но и в пневмометрической трубке, резиновых шлангах и арматуре микроманометра. Поэтому при обнаружении неплотности необходимо установить место утечки и устранить ее.

Во время работы с микроманометром не допустимо наличие в его трубке пузырьков воздуха. Последние легко удаляются путем легкого поддува воздуха в резервуар или наклоном микроманометра в сторону измерительной трубки. При отсутствии пузырьков воздуха уровень спирта должен возвращаться к начальному показанию. Если при продувке спирт зальется в шланги, то их необходимо снять и просушить.

Измерение расхода воздуха в воздуховоде производится по значению средней скорости, вычисленной на основании замеренного динамического (скоростного) давления.

Расход воздуха L, м^3/ч, в воздуховоде определяют по формуле

$$L = vF3600, \qquad \text{(VI.6)}$$

где v — средняя скорость воздушного потока, м/с; F — площадь сечения воздуховода, м^2.

Скорость воздуха находят из уравнения

$$v = \sqrt{2p_д g/\rho}, \qquad \text{(VI.7)}$$

где $p_д$ — динамическое давление, кгс/м^2; ρ — плотность воздуха, кг/м^3.

Для стандартных условий при $\rho = 1{,}2$ кг/м^3 формула (VI.7) принимает вид

$$v = 4{,}04\sqrt{p_д}. \qquad \text{(VI.8)}$$

Формула (VI.8) с достаточной для практики точностью справедлива для значений температур воздуха 15—25 °С.

Пневмометрические трубки с микроманометрами применяют для измерения достаточно высоких скоростей воздуха. Минимальные значения скоростей воздушных потоков составляют: для U-образного манометра — 7—8 м/с; для микроманометра ЦАГИ — 4 м/с; для микроманометра ММН — 3 м/с. Для меньших значений скоростей точность измерения резко падает, поэтому необходимо применять другие методы измерения.

Для определения расхода воздуха следует выбрать достаточно ровный прямой участок. Его длина должна быть не менее четырехпяти калибров (диаметров) после местного сопротивления и не менее двух калибров до следующего по движению воздуха местного

сопротивления. В натурных условиях не всегда можно выдержать это требование, поэтому при выравненном поле скоростей достаточно производить измерение давлений по одной оси симметрии; а при искаженном — по двум взаимно перпендикулярным осям. Число измерений, необходимое для определения средней скорости, зависит от размеров воздуховода и определяется по табл. VI.1.

Таблица VI.1

Диаметр круглого воздуховода или размер стороны прямоугольного воздуховода, мм	Число измерений	Диаметр круглого воздуховода или размер стороны прямоугольного воздуховода, мм	Число измерений
До 350	6	600—700	12
350—400	8	700—800	14
400—500	9	800—900	14
500—600	10	900—1000	16

В сечениях прямоугольных воздуховодов поля скоростей проходят по осям, перпендикулярным стороне, с которой через соответствующие отверстия вводится пневмометрическая трубка. При этом в зависимости от размера стороны a воздуховода принимается следующее число отверстий:

a, мм	до 200	200—450	450—700	<700
n	1 (в середине стороны)	2 (в середине каждой половины стороны)	3 (в середине каждой трети стороны)	4 (в середине каждой четверти стороны)

В тех случаях, когда наименьшее и наибольшее значения скоростного давления, замеренного в данном сечении воздуховода, отличаются одно от другого менее чем в 2 раза, усредненное значение скоростного давления с достаточной для практики точностью определяют как среднее арифметическое из значений скоростных давлений в каждой из точек замеров:

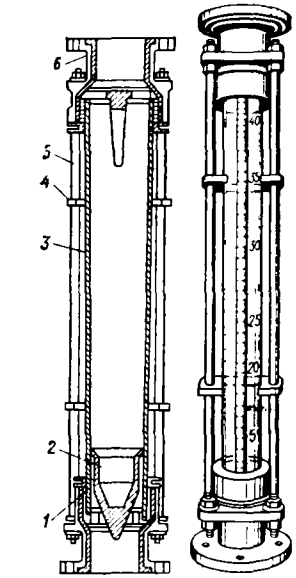
$$p_{ск} = (p_{ск_1} + p_{ск_2} + \ldots + p_{ск_n})^2/n \qquad (VI.9)$$

Усредненные значения полных, а также статических давлений, замеренных в данном сечении воздуховода, определяют как средние арифметические из значений давления в каждой из точек замеров.

В практике наладочных работ нередки случаи, когда измеренные динамические давления в сечении имеют не только большие расхождения, но и принимают нулевые или отрицательные значения. В этом случае средние значения скоростных давлений, замеренных в данном сечении воздуховода, определяют по формуле

$$p_{ск} = \left(\frac{\sqrt{p_{ск_1}} + \sqrt{p_{ск_2}} + \ldots + \sqrt{p_{ск_n}}}{n}\right)^2, \qquad (VI.10)$$

где $p_{ск_1}$, $p_{ск_2}$, ..., $p_{ск_n}$ — скоростные давления, замеренные в отдельных точках сечения; n — число точек замеров.



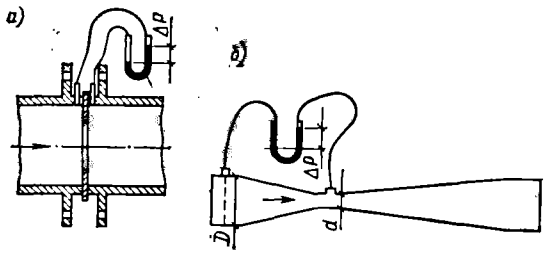


Рис. VI.10. Схема измерения давления
а — в днафрагме; *б* — в трубе Вентури

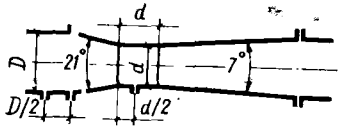


Рис. VI.11. Нормальная труба Вентури

←
Рис. VI.9. Ротаметр
1 — входной штуцер; *2* — поплавок; *3* — конусная стеклянная трубка; *4* — крепежное кольцо; *5* — крепежные шпильки; *6* — выходной штуцер

Пример VI.5. При измерении искаженного поля скоростей получены следующие значения динамического давления: 15,0; ±0,0; 12,3; 44,5; —7,1; 20,4; 15,6; —3,1; ±0,0; 31,4 кгс/м². Среднее значение $p_{ск}$ определяем по формуле

$$p_{ск} = \left(\frac{\sqrt{15} + \sqrt{12,3} + \sqrt{44,5} + \sqrt{20,4} + \sqrt{15,6} + \sqrt{31,4}}{10}\right)^2 = 7,91 \text{ кгс/м}^2.$$

Число, указанное в знаменателе, включает все измерения: положительные, отрицательные и нулевые значения. Если бы были уточнены только положительные измерения, то результат составил бы $p_{ск} = (28,118/6)^2 = 21,96$ кгс/м и был бы явно завышен, так как в действительности поток протекает со средней скоростью, соответствующей динамическому давлению не по всему поперечному сечению воздуховода.

Для измерения расхода различных жидкостей и газов в стационарных условиях используются ротаметры.

Ротаметр со стеклянной трубкой (рис. VI.9) представляет собой расходомер постоянного перепада давления. Он состоит из вертикально установленной конусной стеклянной трубки, расширяющейся вверх, внутри которой находится поплавок, свободно плавающий в потоке измеряемой жидкости или газа.

Шкала прибора выполняется с равномерными делениями и нанесена непосредственно на стеклянной трубке. Прибор устанавливается только в вертикальном положении при движении измеряемого потока снизу вверх. При протекании измеряемого вещества внутри трубки прибора поплавок под воздействием потока поднимается до тех пор, пока кольцевой зазор между поплавком и внутренней поверхностью конусной трубки не увеличится настолько,

что подъемная сила, воздействующая на поплавок, уравновесится весом поплавка. Положение верхней грани поплавка указывает по шкале величину расхода. Для устойчивости работы прибора обод поплавка имеет несколько косых винтовых каналов. Под действием давления потока, проходящего через каналы, поплавок все время вращается, вследствие чего центрируется в середине потока, не соприкасаясь с трубкой, т. е. работает без трения о ее стенки, что делает его весьма чувствительным к незначительным изменениям скорости потока.

Промышленность выпускает ротаметры РС-3, РС-5 и РС-7, основные характеристики которых приведены в табл. VI.2.

Таблица VI.2

Характеристики	Значения характеристик для ротаметров										
	РС-3А			РС-3			РС-5			РС-7	
	сталь Х18Н9Т	дюралюминий анодированный	эбонит	сталь Х18Н9Т	дюралюминий анодированный	эбонит	сталь Х18Н9Т	дюралюминий анодированный	эбонит	сталь Х18Н9Т	эбонит
Расход воздуха, м³/ч:											
максимум	0,17; 0,25	0,10	0,060	1,0	0,63	0,35	10	6,3	4,0	40	25
минимум	0,025; 0,04	0,01	0,006	0,2	0,10	0,04	1,6	1,0	0,63	10	6,3
Потеря давления, мм рт. ст.	24	13	8	38	13	3	75	30	13	—	40
Максимально допустимое давление, мм вод. ст.		4			4			11		—	—
Диаметр мерного сечения, мм		6			6			16,4		40	40

Градуировка газовых ротаметров производится при температуре 20 °С и давлении 760 мм рт. ст. В паспорте прибора даны градуировочная таблица и график. Основная допустимая погрешность показаний для ротаметров РС-3, РС-5 и РС-7 не превышает ±2,5%, для ротаметров РС-3А — ±6 %.

Сужающие устройства предназначены для измерения расхода жидкости, газа или пара. Они представляют собой приборы, образующие местное сужение в трубопроводе, в которых при протекании потока жидкости, газа или пара вследствие перехода части потенциальной энергии давления в кинетическую средняя скорость потока в суженном сечении повышается, в результате чего создается перепад давления, величина которого зависит от расхода. Перепад давления измеряется дифманометрами, градуированными в единицах расхода вещества или в единицах давления.

Расход воздуха L, м³ с, определяют по перепаду статических давлений до и после диафрагмы или в узком и широком сечениях трубы Вентури (рис. VI.10):

$$L = K\sqrt{\Delta p}, \qquad \text{(VI.11)}$$

где Δp — перепад статических давлений, кгс/м²; K — тарировочный коэффициент.

Коэффициент K для труб Вентури с достаточной для практики точностью можно определить по формуле

$$K = \sqrt{\frac{1}{\rho/2\,(4/\pi)^2\,(1/d^4 - 1/D^4)}}\cdot 3{\cdot}13, \qquad \text{(VI.12)}$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³; d — внутренний диаметр узкой части трубы, м; D — внутренний диаметр широкой части трубы перед сужением, м.

Нормальная труба Вентури (рис. VI.11) состоит из входного конуса, цилиндрической средней части и выходного конуса. Обычно перед входным конусом помещается дополнительный цилиндрический патрубок с внутренним диаметром D. Переход от переднего цилиндра к входному конусу и от входного конуса к среднему цилиндру выполняется плавным. Переход от среднего цилиндра к выходному конусу осуществляется без закругления. Угол входного конуса равен 21°. Угол выходного конуса должен удовлетворять условию $5° \leqslant \varphi \leqslant 15°$

Отбор статических давлений должен осуществляться через кольцевые камеры, соединенные с внутренней полостью трубопровода не менее чем шестью отверстиями. Отверстия располагаются на расстоянии $D/2$ и $d/2$ соответственно от начала и конца входного конуса.

Измерение скорости воздуха осуществляют приборами, называемыми анемометрами. Анемометры бывают механические — крыльчатый типа АСО-3, чашечный типа МС-13 и электрические — конструкции ЛИОТ, ВНИИГС, Уральского Промстройниипроекта.

Крыльчатый анемометр АСО-3 (рис. VI.12) предназначен для измерения скорости воздуха от 0,2 до 5 м/с, осредненной за определенный промежуток времени. Погрешность измерения Δv, м/с, зависит от скорости воздуха и определяется по формуле

$$\Delta v = \pm(0{,}06v + 0{,}1), \qquad \text{(VI.13)}$$

где v — средняя скорость измеряемого потока, м/с.

Прибор состоит из корпуса-обечайки, внутри которого помещена крыльчатка, насаженная на трубчатую ось, и рукоятки. Под действием воздушного потока крыльчатка принимает вращательное движение, частота которого зависит от скорости набегающего потока. Число оборотов крыльчатки измеряется счетным механизмом. Счетный механизм имеет соответственно три шкалы: единиц, сотен и тысяч.

При повороте арретира против часовой стрелки включается счетный механизм. В корпус прибора по обе стороны арретира ввернуты два ушка. Через ушки пропускается шнурок, с помощью которого производятся включение и выключение анемометра, под-

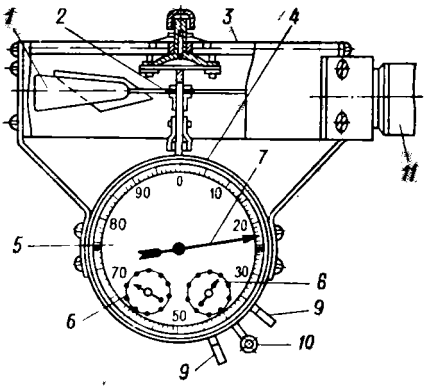


Рис. VI.12. Крыльчатый анемометр АСО-3

1 — крыльчатка; *2* — ось; *3* — корпус-обечайка; *4* — счетный механизм; *5* — циферблат; *6*, *7* и *8* — стрелки; *9* — ушки; *10* — арретир; *11* — рукоятка

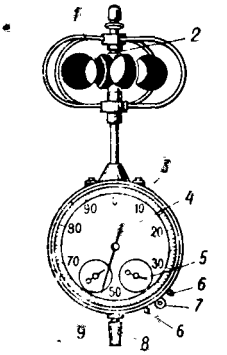


Рис. VI.13. Чашечный анемометр МС-13

1 — четырехчашечная вертушка; *2* — вал; *3* — счетный механизм; *4*, *5* и *9* — стрелки; *6* — ушки; *7* — арретир; *8* — винт

нятого на стойке (шесте). Шнурок привязывается к арретиру. В ручке прибора имеется коническое отверстие, которое служит для соединения его со стойкой или шестом.

Масса анемометра не более 0,4 кг.

Чашечный анемометр МС-13 (рис. VI.13) предназначен для измерения средней скорости воздуха от 1 до 20 м/с за определенный промежуток времени. Погрешность измерения Δv, м/с, зависит от средней скорости и определяется по формуле

$$\Delta v = \pm (0{,}06v + 0{,}3). \qquad \text{(VI.14)}$$

Приемной частью анемометра является четырехчашечная метеорологическая вертушка, насаженная на вал. Вращение вертушки передается валом счетному механизму. Циферблат счетного механизма имеет три шкалы: единиц, сотен и тысяч. Центральная стрелка *4* показывает единицы и десятки, левая стрелка *9* — сотни и правая стрелка *5* — тысячи оборотов вертушки. Включение и выключение счетного механизма производится поворотом арретира (соответственно) против часовой стрелки или по часовой стрелке.

В нижней части корпуса прибора имеется винт для закрепления прибора на деревянной стойке. В корпусе прибора по обе стороны арретира ввернуты два ушка. Через ушки пропускается шнурок, с помощью которого производится включение анемометра при закреплении его на стойке. Шнурок привязывается к арретиру. Вертушка анемометра защищена от механических повреждений крестовиной из проволочных дужек, служащей также для закрепления верхней опоры вала вертушки.

Масса анемометра не более 0,2 кг.

Перед измерением скорости воздушного потока с помощью арретира выключают счетное устройство и записывают начальное по-

казание счетчика. После этого анемометр вносят в воздушный поток так, чтобы ось крыльчатого анемометра располагалась параллельно воздушному потоку, а ось чашечного анемометра была перпендикулярна направлению движения воздуха. Отклонение от указанных положений не должно превышать 12—15 °. Через 5—10 с после внесения анемометра в поток одновременно включают секундомер и счетное устройство анемометра. По истечении 30—100 с механизм и секундомер выключают и записывают конечное показание счетчика и длительность измерения в секундах. Продолжительность отсчета должна составлять не менее 30 с.

Делением разности конечного N_2 и начального N_1 показаний счетного механизма на время измерения t, с, определяют число делений n, приходящихся на 1 с:

$$n=(N_2-N_1)/t. \qquad \text{(VI.15)}$$

Скорость воздушного потока v, м/с, определяют по зависимости, полученной при тарировке прибора:

$$v=a+ln,$$

где a — отрезок, отсекаемый прямой на оси абсцисс; l — котангенс угла наклона прямой.

Для нахождения скорости на вертикальной оси графика отыскивают число, соответствующее числу делений шкалы счетчика в 1 с. От этой точки проводят горизонтальную линию до пересечения с осью графика, а из полученной точки проводят вертикальную линию до пересечения с горизонтальной осью. Точка пересечения вертикальной линии с осью графика дает искомую скорость воздушного потока.

Для малых скоростей более точен расчет по уравнению. В каждой точке необходимо производить измерение 2 раза, при несовпадении результатов более чем на ± 5 % производят дополнительные измерения.

При измерении скорости движения воздуха в проемах наружных ограждений зданий, проемах между помещениями, в приточных и вытяжных отверстиях анемометры должны закрепляться на стойках или штангах, чтобы не заслонять живое сечение проема, в котором производят измерения.

В отверстиях площадью до 1—2 м^2 средняя по сечению скорость воздуха измеряется при медленном равномерном перемещении анемометра по всему сечению отверстия. При больших площадях отверстия его сечение разбивают на несколько равных площадей и измерения проводят в центре каждой из них. Средняя скорость в сечении отверстия находится как среднее арифметическое из значений измеренных скоростей по всем площадкам.

В тех случаях, когда в одной части проема движение воздуха имеет одно направление, а в другой — противоположное, до осуществления измерения с помощью анемометра определяют положение нейтральной линии в проеме, где скорость воздуха практически равна нулю. После этого измеряют скорость движения воздуха по обе стороны от нейтральной линии.

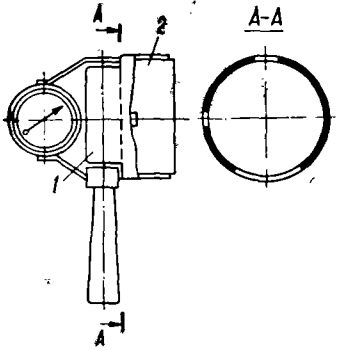


Рис. VI.14. Крыльчатый анемометр с насадками
1 — анемометр; *2* — насадка

В отверстиях, закрытых решетками, измерение производят анемометрами, снабженными насадками (рис. VI.14), которые в процессе измерения плотно прилегают к решетке. Насадки обычно изготовляют для чашечных анемометров из листовой стали или жести, а для крыльчатых — из отрезков пластмассовых труб.

При измерении скорости воздушного потока у решетки с целью определения расхода измеренное значение следует скорректировать, вводя поправочный коэффициент, равный обычно 0,7—1,0. Этот коэффициент определяют экспериментально.

При испытании решеток на стендах поправочный коэффициент вычисляют по формуле

$$K = L_1/L_2, \qquad (VI.16)$$

где L_1 — расход воздуха, м³/с, определенный по скорости, замеренной в габаритном сечении решетки; L_2 — расход воздуха, м³/с, замеренный в воздуховоде, коллекторе или трубе Вентури.

При испытании вентиляционных установок с однотипными решетками и отсутствии утечек (подсосов) воздуха в воздуховодах коэффициент K определяют по формуле

$$K = L_{общ}/(L_1 + L_2 + ... + L_n), \qquad (VI.17)$$

где $L_{общ}$ — общий расход воздуха, м³/с, замеренный в магистральном воздуховоде; L_1, L_2, ..., L_n — расходы воздуха, м³/с, определенные по скоростям, замеренным с сечениях отдельных решеток.

Термоанемометры ТА-ЛИОТ и ТП-45 конструкции ВНИИГС являются переносными приборами, предназначенными для измерения скорости воздушного потока и его температуры. В зависимости от модели приборы могут измерять скорость воздушного потока от 0,1 до 5 м/с или от 0,1 до 10 м/с. Диапазон измерения температуры лежит в пределах 0—50 °С. Погрешность измерения температуры не превышает 1 %. Приборы могут питаться от сети переменного тока 220 В или от батарей.

В основу работы термоанемометров положен принцип измерения охлаждения датчика воздушным потоком. Электрическая схема термоанемометра состоит из неуравновешенного моста постоянного тока, в одно из плеч которого включен чувствительный элемент

датчика — микротермосопротивление типа МТ-54. Электрический ток, проходящий по датчику, подбирается таким образом, чтобы датчик при скорости потока, равной нулю, перегревался на величину, постоянную по отношению к температуре измеряемого воздушного потока. Компенсация изменений температуры воздушного потока осуществляется вручную.

Для измерения температуры и скорости потока термоанемометрами необходимо осуществить следующие операции. Установить прибор горизонтально и с помощью корректора вывести стрелку гальванометра на нулевое деление шкалы. Датчик поместить в месте измерения температуры и скорости потока и разъем соединительного провода датчика вставить в гнезда с обозначением «Датчик». Переключатель рода работы установить в положение «Контроль». Выключатель поставить в положение «Включено». С помощью потенциометра стрелку гальванометра совместить с красной чертой на шкале. Переключатель рода работы установить в положение «Температура» и определить температуру потока по нижней шкале гальванометра. Переключатель компенсатора установить в положение, соответствующее измеренной температуре, и переключатель рода работ перевести в положение «Скорость». После прогрева датчика (около 30 с) определить скорость потока по верхней шкале.

При эксплуатации прибора следует помнить, что датчик боится ударов и вибрации. Чувствительный элемент датчика следует периодически осторожно протирать ватой, смоченной в спирте.

Аналогичный принцип действия использован во ВНИИОТ ВЦСПС при разработке термоанемометра. Прибор отличается от аналогов малыми габаритными размерами (140×80×35 мм), небольшой массой (300 г), наличием двух диапазонов скоростей и малой постоянной времени (около 0,5 с). Измерительная система прибора работает по принципу анемометра постоянной температуры, т. е. имеет замкнутую обратную связь. Датчиком является полупроводниковый терморезистор типа СГ-3-14. При измерении скорости воздушного потока датчик прибора перегревается на 60 °С относительно температуры окружающей среды. Прибор позволяет измерять средние скорости в пределах 0,1—5 м/с с точностью ±15 % на втором пределе. При измерении температур воздушной среды датчик переключается на схему, работающую в режиме неравновесного моста. При этом можно изменять температуру в пределах 0—50 °С с точностью ±1 %. Прибор имеет выходные клеммы для подключения стандартного самописца. Питание термоанемометра осуществляется от батареи «Крона» или аккумулятора 7Д-01. Потребляемый ток не превышает 15 мА.

Термоанемометр ЭА-2М предназначен для одновременного измерения скорости движения воздуха в пределах 0,1—5 м/с и его температуры от 10 до 60 °С. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока или четырех элементов 373. В качестве датчика в приборе применены терморезисторы ММТ-6. Измерения про-

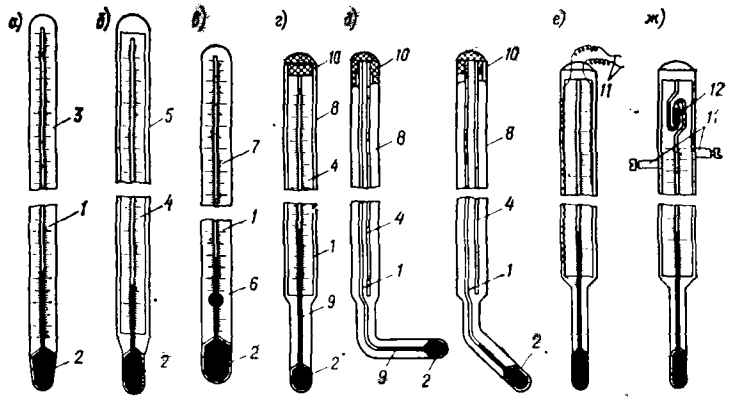


Рис. VI.15. Ртутные стеклянные термометры

а — палочный; *б, в* — с вложенной шкалой; *г* — технический; *д* — угловой; *е* — одноконтактный; *ж* — одноконтактный с отливом; *1* — капилляр; *2* — резервуар; *3* — шкала, нанесенная на внешней поверхности капилляра; *4* — шкала на пластинке молочного стекла; *5—8* — защитные оболочки; *9* — нижняя (хвостовая) часть; *10* — корковая пробка, залитая гипсом; *11* — выводы контакта; *12* — дополнительный резервуар

водятся при горизонтально установленном приборе, к которому подключают датчик.

Для установки рабочего напряжения переключатель ставят в положение «Контроль» и ручкой устанавливают стрелку на максимальное деление шкалы гальванометра.

Для измерения температуры воздуха переключатель устанавливают в положение Т, а датчик — в место измерения. Выждав, когда стрелка перестанет двигаться, отсчитывают величину тока по гальванометру и по графику, имеющемуся в инструкции к прибору, определяют температуру воздуха. Для измерения скорости движения воздуха переключатель ставят в положение А и, введя датчик в исследуемый поток, снимают показания гальванометра и по графику находят скорость движения воздуха.

Измерение температуры *осуществляется приборами, принцип* действия которых основан на физических свойствах тел, связанных определенной зависимостью с температурой. Наиболее широко используются следующие свойства: тепловое расширение тел, газов, паров и жидкостей; электрическое сопротивление проводников; термоэлектродвижущая сила; энергия излучения нагретых тел.

При наладочных работах по вентиляции температура газов и жидкости от —40 до +60 °С измеряется тарированными жидкостными термометрами с ценой деления не более 0,5 °С. При температурах свыше +60 °С допускается применение термометров с ценой деления 1 °С. Температура воздуха и газов при составлении балансов по теплоте и влаге, а также при проведении лабораторных исследований измеряется тарированными термометрами с ценой деления не более 0,2 °С.

Жидкостные стеклянные термометры (рис. VI.15) основаны на объемном расширении жидкости, заключенной в зак-

рытом стеклянном резервуаре. Резервуар соединен с капилляром трубкой, имеющей малый внутренний диаметр. При нагревании резервуара заполняющая его жидкость увеличивается в объеме и поднимается вверх по капилляру. По высоте столбика жидкости в капилляре можно судить об измеряемой температуре. Чем толще капилляр по сравнению с резервуаром, тем чувствительнее термометр.

В качестве рабочей жидкости в термометрах служат обычно ртуть и органические жидкости. Ртутно-стеклянные термометры используют для измерения температуры от —30 до +500 °С. Термометры с органическими жидкостями называют низкотемпературными; в них применяют для измерения температуры: до —130 °С этиловый спирт, до —90 °С — толуол, до —130 °С — петролейный эфир и до —190 °С — пентан.

Ртутные стеклянные термометры разделяются на палочные и с вложенной стеклянной шкалой. Палочный термометр представляет собой толстостенную капиллярную трубку из термостойкого стекла или кварца, на который нанесены деления шкалы. При наблюдении сквозь толщу стекла капилляр представляется значительно увеличенным и столбик жидкости хорошо виден, несмотря на очень малый действительный размер капилляра. Резервуар с ртутью у палочных термометров имеет наружный диаметр, одинаковый с наружным диаметром капиллярной трубки. Палочные термометры обладают высокой точностью и применяются в основном для лабораторных измерений.

Стеклянные термометры с вложенной шкалой отличаются тем, что капиллярная трубка имеет небольшой наружный диаметр, а деления шкалы нанесены на плоскую пластинку из молочного стекла, помещаемую сзади капиллярной трубки. Шкала и капилляр заключены в стеклянную оболочку, припаянную к резервуару.

Термометр с ртутным заполнением может быть снабжен электрическими контактами, которые замыкаются ртутными столбиками. Такие термометры называются контактными или термосигнализаторами. Один из контактов впаян в нижней точке капилляра и всегда соприкасается с ртутью. Этот контакт обычно выполняется из платины, так как она имеет такой же температурный коэффициент, как и термометрическое стекло.

Другие контакты впаяны в капилляр на определенных отметках шкалы или же другой контакт изготовляется подвижным. В качестве подвижного рабочего контакта термосигнализатора применяется тонкая вольфрамовая проволока, расположенная внутри капилляра. Контакт перемещается с помощью передвигающейся по винту овальной гайки, заключенной в овальную трубку. Вращение винта производится подковообразным постоянным магнитом, который устанавливается на колпачке в верхней части термометра.

Шкала, нанесенная на термометр, справедлива, когда глубина его погружения равна высоте столбика измерительной жидкости. При этом измерительная жидкость, находящаяся в резервуаре и капилляре, имеет температуру измеряемой среды. Если столбик из-

мерительной жидкости выступает над уровнем погружения термометра, то температура выступающей части будет отличаться от температуры измеряемой среды. Следовательно, выступающий столбик измерительной жидкости дополнительно удлиняется или укорачивается в зависимости от температуры окружающей среды. Поправку Δt °С, к показаниям термометра на температуру выступающего столбика подсчитывают по формуле

$$\Delta t = Kh(t_{\text{терм}} - t_{\text{окр}}), \qquad \text{(VI.18)}$$

где K — коэффициент линейного расширения, равный 0,00016; h — высота выступающего столбика измерительной жидкости, °С по шкале; $t_{\text{терм.}}$ — температура, показываемая термометром, °С; $t_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды, °С, показываемая контрольным термометром, установленным у выступающей части наружной части термометра.

Пример VI.6. Термометр погружен в измеряемую среду до деления по шкале 20 °С и показывает температуру 125 °С. Температура окружающей среды $t_{\text{окр}}$ равна 22 °С, высота выступающего столбика равна разности 125—20, т. е. 105.

Поправка на температуру выступающего столбика составила: $\Delta t = 0{,}00016 \cdot 105(125-22) = +1{,}7$ °С.

В этом случае действительная температура среды будет не 125 °С, как показывает термометр, а 125+1,7=126,7 °С.

Метастатический термометр с меняющимися пределами шкалы предназначен для измерения температуры с повышенной точностью. Измерение производится в интервале, не превышающем 5 °С на любом участке шкалы от — 20 до 150 °С. Для изменения пределов измерения часть ртути отливается из капилляра в сифонообразный вспомогательный резервуар.

Термометр принадлежит к числу стеклянных ртутных термометров с вложенной шкальной пластиной. Термометр имеет рабочую шкалу 5 °С с ценой деления 0,01 и вспомогательную шкалу от — 20 до 150 °С с ценой деления 5 °С. Вспомогательная шкала служит для установки нижнего предела температуры, от которого производится отсчет по рабочей шкале. Основная допустимая погрешность термометра ± 0,015 °С. Температуру измеряют при погружении термометра в измеряемую среду на постоянную величину до начала делений шкалы.

Стержневой термометр-дилатометр состоит из трубки и стержня, изготовленных из разных материалов. Стержень расположен внутри трубки. Один конец его жестко закреплен ко дну трубки. Трубка и стержень по-разному удлиняются при нагревании. Изменение соотношения их длины характеризует температуру нагрева. Стержневые термометры применяют главным образом в качестве сигнализаторов и регуляторов температуры. При заданных значениях температуры они замыкают или размыкают электрические контакты, включаемые в электрические цепи.

Биметаллический термометр имеет чувствительный элемент в виде плоской или спиральной пружины, спаянной из двух разнородных пластин. Пластины изготовляют из металлов с разными коэффициентами температурного расширения. При нагревании обе пластины удлиняются, но неодинаково и пружина изгибается в сторону металла с меньшим температурным коэффициентом.

По величине изгиба можно судить о температуре нагрева. Биметаллический термометр применен в термографе.

Термограф М-16А предназначен для непрерывного измерения и регистрации температуры воздуха. Чувствительной частью прибора является изогнутая биметаллическая пластина, изменяющая свою кривизну в зависимости от температуры. Один конец пластины закреплен, а другой системой рычагов связан со стрелкой. На конце стрелки установлено перо в виде ковшичка, в которое заливаются медленно сохнущие чернила. Перо вычерчивает кривую изменения температуры на диаграммной ленте, закрепленной на барабане с помощью лентодержателя. Барабан вращается под действием помещенного в него часового механизма. В зависимости от модификации прибора барабан делает один оборот в сутки (суточный термограф) или в неделю (недельный). Часовой механизм заводится ключом.

Прибор регулируется винтом, перемещающим закрепленный конец чувствительной пластины. В приборе предусмотрен отметчик времени, который позволяет, не открывая крышки корпуса прибора, производить отметки времени на диаграммной ленте. При нажатии на кнопку перо поднимается и делает вертикальную засечку. Отвод стрелки с пером от барабана часового механизма для прекращения записи и объема барабана при смене диаграммной ленты осуществляется поворотом рычага до упора в направлении на себя. Перо на поверхность барабана опускается поворотом этого рычага до упора в обратном направлении. Основная плата прибора, на которой смонтировны все узлы и механизмы, прикреплена к основанию корпуса.

Крышка корпуса запирается замком, снабженным защелкой, выступающей из основания корпуса. При открывании и закрывании корпуса необходимо предварительно нажать на защелку замка. Чувствительная часть термографа защищена от механических повреждений защитными дугами.

Для измерения температуры воздуха в рабочей зоне помещения термометры устанавливают по возможности на высоте 1,5 м от пола, вдали от холодных наружных ограждений и оборудования, излучающего теплоту, и вне зоны действия приточных струй и солнечных лучей. Резервуары термометров должны свободно омываться воздухом.

Температуру воздуха вблизи горячих или холодных поверхностей следует измерять аспирационными психрометрами, резервуары термометров которых защищены от воздействия тепловой радиации.

Температура наружного воздуха измеряется термометрами, которые должны быть защищены от непосредственного воздействия солнечных лучей и атмосферных осадков.

Температуру воздуха в воздуховодах рекомендуется измерять термометрами, вводимыми внутрь воздуховодов через специальные отверстия или лючки. При разрежении в воздуховоде следует исключить возможность подсоса воздуха через отверстия или лючки.

Места измерения температуры воздуха в воздуховодах необходимо выбирать с учетом следующих требований:

установленные термометры не должны подвергаться вибрации и тряске;

на показания термометров не должно влиять лучистое тепло от калориферов и должна быть исключена возможность попадания внутрь термометра капель воды после замеров в камерах орошения.

Показания термометров следует снимать не ранее чем через 5 мин после их установки, при этом не следует дотрагиваться до резервуара руками, дышать на него, освещать спичками.

При необходимости наблюдения за температурой воздуха в помещении в течение суток или более длительного времени следует использовать самопишущие приборы — термографы, электронные самопишущие многоточечные и одноточечные мосты с термометрами сопротивления.

Температура поверхностей измеряется термощупами или поверхностными термопарами. Полупроводниковые термометры ЭТП-1А, ЭТП-М и ЭТП-2А, предназначенные для измерения температуры в производственных и лабораторных условиях, разработаны и изготовляются экспериментальной базой Уральского Промстройниипроекта. Их основные технические характеристики приведены ниже.

Основные технические характеристики полупроводниковых термометров

	ЭТП-1А	ЭТП-2А	ЭТП-М
Под диапазон измеряемой температуры, °С:			
I	25—75	10—0	—30—20
II	70—120	—30—20	20—70
III	—	—	70—120
Цена деления, °С	1	1	1
Класс точности	4	4	2,5
Постоянная времени при измерении температуры, °С:			
жидкости . .	40	40	40
воздуха . . .	180	180	180
поверхности	40	40	140
Питание приборов	КБС-Л-0,5	КБС-Л-0,5	элементы 333
Габариты, мм. . .	114×204×120	114×204×120	114×204×102
Масса прибора в комплекте, кг. .	1,8	1,8	1,9

Приборы ЭТП-1А и ЭТП-2А работают с датчиками трех типов:

тип I — для измерения температуры поверхностей металлических строительных конструкций и ограждений, нагревателей отопительно-вентиляционных систем, трубопроводов котельных и холодильных установок, корпусов и деталей электромашин и другого техно-

логического оборудования. Терморезистор датчика плотно обмотан голой медной проволокой, припаян к контактному колпачку и помещен в колодку, которая поджимается пружиной, вследствие чего обеспечивается надежный тепловой контакт с измеряемой поверхностью;

тип II — для измерения температуры неагрессивных жидкостей, растворов, сыпучих материалов и влажных газовых сред. Датчик состоит из герметичной трубки, внутри которой помещен терморезистор;

тип III — для измерения температуры неагрессивных газовых и воздушных сред нормальной влажности. Датчик состоит из перфорированной трубки с терморезистором, расположенным внутри.

В приборе ЭТП-М применен один датчик с тремя сменными насадками, позволяющими производить все названные выше измерения.

Все элементы и узлы приборов смонтированы на жесткой панели и помещены в защитный корпус с крышкой, на которой размещаются датчики. В специально предусмотренной кассете в корпусе прибора устанавливается батарея питания. На лицевой панели приборов расположены стрелочный индикатор, переключатель поддиапазонов, переключатель рода работы, переменный резистор установки рабочего напряжения, выключатель питающего напряжения, разъем для включения датчиков (в приборах ЭТП-1А, ЭТП-2А).

Работа с приборами предусматривает следующий порядок выполнения операций. Подключить датчик и расположить прибор горизонтально. Механическим корректором стрелочного индикатора установить стрелку на нулевую отметку шкалы. Переключатель поддиапазонов установить на требуемый поддиапазон измерения. Переключатель рода работы установить в положение «Контроль» и включить питание прибора. Ручкой «Регулирование напряжения» установить стрелку индикатора на максимальное деление шкалы (настройку необходимо осуществить после каждого переключения поддиапазонов и при измерении периодически контролировать). Переключатель рода работы установить в положение «Измерение». По шкале прибора снять показание при установившемся значении тока измерителя. В приборах, шкала измерителя которых градуирована в МКА, температуру определять по зависимости $I=f(t)$, прилагаемой к прибору в виде графика. Датчик прибора при измерениях устанавливать заранее или перед включением прибора. Места измерений температуры поверхностей выбирать ровные, сухие, очищенные от грязи, краски и т. п., с минимальным радиусом закругления до 40 мм.

Датчик I типа плотно прижать, без сдвигов, дрожаний и ударов, держа его ручку перпендикулярно измеряемой поверхности. Для обеспечения надежного теплового контакта с поверхностью перед измерением медный колпачок датчика рекомендуется смазать техническим вазелином или маслом. Датчик II типа погру-

жать в жидкость или сыпучую среду на полную глубину, сохраняя расстояние между низом ручки и уровнем жидкости не менее 5 мм.

При окружающих температурах ниже +10 °С измерения необходимо проводить дистанционно либо измерительный прибор держать под одеждой для сохранения его температуры в пределах 10 — 35 °С.

Измерение влажности воздуха. Относительная влажность газа φ равна отношению действительной влажности газа к его максимально возможной влажности, соответствующей насыщению при данной температуре.

Наибольшее распространение при наладочных и исследовательских работах по вентиляции получил психрометрический метод измерения относительной влажности воздуха. Этот метод основан на измерении температур двумя термометрами: «сухим» (обыкновенным) и «мокрым», на чувствительную часть которого надет смачиваемый дистиллированной водой чулок из тонкой хлопчатобумажной ткани (марля, батист, муслин). «Мокрый» термометр находится в термодинамическом равновесии с окружающей газовой средой. Вследствие испарения влаги с поверхности чувствительной части «мокрого» термометра (в результате поглощения теплоты из воздуха, идущего на испарение влаги) температура воздуха в пограничном слое в «мокром» термометре понижается и он показывает более низкую температуру, чем «сухой». Разность в показаниях «сухого» и «мокрого» термометров называют психрометрической разностью. Испарение с поверхности чувствительного элемента «мокрого» термометра происходит тем интенсивнее, чем ниже влажность воздуха, следовательно, разность показаний «сухого» и «мокрого» термометров зависит от значений влажности.

Простой психрометр состоит из корпуса, на котором закреплены два одинаковых ртутных термометра. Баллон одного термометра (обычно левого) «сухой», а баллон другого термометра обернут батистом или марлей. Конец ткани опускают в стаканчик с водой. Благодаря гигроскопичности ткани вода из стаканчика поднимается и смачивает баллон. По психрометрической разности и показанию «сухого» термометра, пользуясь специальными таблицами или номограммами, определяют относительную влажность воздуха.

Показания прибора существенно зависят от скорости воздуха, обдувающего «мокрый» термометр, поэтому при определении относительной влажности следует учитывать это обстоятельство. Показания «мокрого» термометра не зависят от скорости обдувающего воздуха, если она более 2 м/с. Это свойство использовано в аспирационном психрометре.

Аспирационный психрометр служит для измерения влажности и температуры воздуха в стационарных и походных условиях. Промышленность выпускает аспирационные психрометры типа МВ-4М с механическим приводом вентилятора и М-34 с электродвигателем. Пределы шкалы термометров — от — 31 до + 51 °С;

цена деления термометров 0,2 °С. Диапазон измерения относительной влажности — от 10 до 100 % при температуре от — 10 до 40 °С.

Прибор состоит из двух одинаковых ртутных термометров, закрепленных в специальной оправе, и аспирационной головки, содержащей заводной механизм или электромотор. Резервуары термометров помещены в трубки защиты с воздушным резервуаром между ними. Назначение их — предохранять чувствительные части термометров от нагревания тепловой радиацией, для чего наружная поверхность трубок тщательно полируется и никелируется. Сами трубки изолированы одна от другой теплоизоляционными шайбами. Трубки защиты соединены аспирационной чашкой с воздухопроводной трубкой, на верхнем конце которой укреплена аспирационная головка. От механических повреждений термометры защищены термозащитой.

Чувствительная часть правого термометра обернута батистом в один слой и перед работой смачивается чистой дистиллированной водой из резинового баллона с пипеткой.

Для подвешивания прибора имеется крюк, на одном конце которого есть винтовая нарезка, а на другом — крючок с прорезью. Крюк ввинчивают горизонтально в деревянный столб и на него навешивают прибор.

Прибор работает следующим образом. Вращением вентилятора в прибор всасывается воздух, который, обтекая чувствительные части термометров со скоростью более 2,5 м/с, проходит по воздухопроводной трубке к вентилятору и выбрасывается им наружу через прорези в аспирационной головке. Температура воздуха определяется по показаниям «сухого» и «мокрого» термометров по специальным психрометрическим таблицам, психрометрическому графику (рис. VI.16) или $I - d$-диаграмме (рис. VI.17).

Относительная влажность по психрометрическому графику определяется в следующем порядке: по вертикальным линиям отмечают показания «сухого» термометра, а по наклонным — показания «мокрого» термометра, на пересечении этих линий получают значение относительной влажности в процентах. Линии, соответствующие десяткам процентов, обозначены цифрами: 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90.

Пример VI.7. Температура «сухого» термометра 24 °С, температура «мокрого» термометра 18 °С. На графике находим точку пересечения вертикальной и наклонной линий, соответствующих данным температурам, она находится на линии 56. Следовательно, относительная влажность будет 56 %.

Найдем значение относительной влажности по $I=d$-диаграмме. Температура воздуха в слое, граничащем с чувствительной частью мокрого термометра будет равна 18 °С при 100 % (точка A на рис. VI.17). Так как с поверхности «мокрого» термометра при установившемся состоянии влага испаряется вследствие теплосодержания воздуха, то процесс изменения состояния воздуха пойдет по линии постоянного теплосодержания. Проведя из точки A линию $I=\text{const}$ до пересечения с изотермой, соответствующей температуре сухого термометра (в нашем примере 24 °С), получим точку $Б$. Искомая влажность воздуха составит 56 %.

Влажность воздуха аспирационным психрометром измеряют следующим образом. При определении влажности на открытом воз-

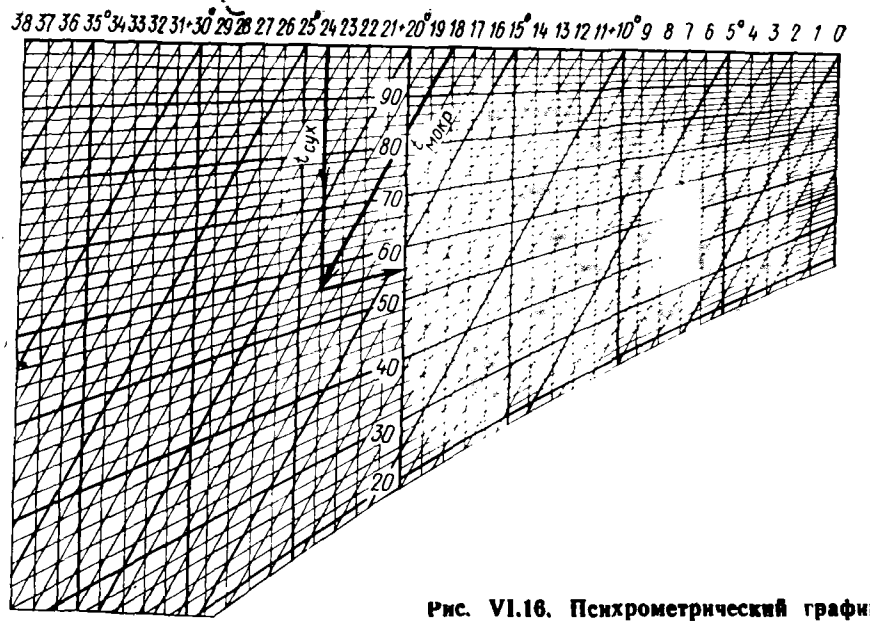


Рис. VI.16. Психрометрический график

духе прибор вынести из помещения летом за 15 мин, а зимой — не менее чем за 30 мин. Смочить батист на резервуаре прибора, для чего взять резиновый баллон с пипеткой, заранее наполненный дистиллированной водой, и легким нажимом довести воду в пипетке до черточки. Если черточка отсутствует, то доводят воду не ближе, чем за 1 см от края пипетки и удерживают ее на этом уровне с помощью зажима. Пипетку ввести до отказа во внутреннюю трубку защиты и смочить батист на резервуаре термометра. Выждав некоторое время, не вынимая пипетки из трубки, разжать зажим и вобрать излишнюю воду в баллон, после чего пипетку вынуть. Завести механический привод аспиратора или включить электромотор. Через 4 мин после включения аспиратора произвести отсчеты показаний термометров.

У психрометров МВ-4М работу аспиратора надо проверять не реже 2 раз в месяц. Для этого пружину механизма завести до отказа, как обычно, и следить через специальное окошко в колпаке за вращением барабана, отмечая одновременно по секундомеру время одного оборота по риске, нанесенной на нем. При нормальной работе время одного оборота барабана не должно превышать больше чем на 10 с время, указанное в паспорте прибора. Если будет замечено значительное изменение частоты вращения, то прибор нельзя уже считать точным и его следует сдать в ремонт, а затем на проверку.

Гигрограф М-21 — самопишущий прибор, предназначенный для непрерывного измерения и записи относительной влажности воздуха в пределах 30 — 100 % при температуре от — 35 до + 45 °С. Изменения относительной влажности воздуха во времени регистри-

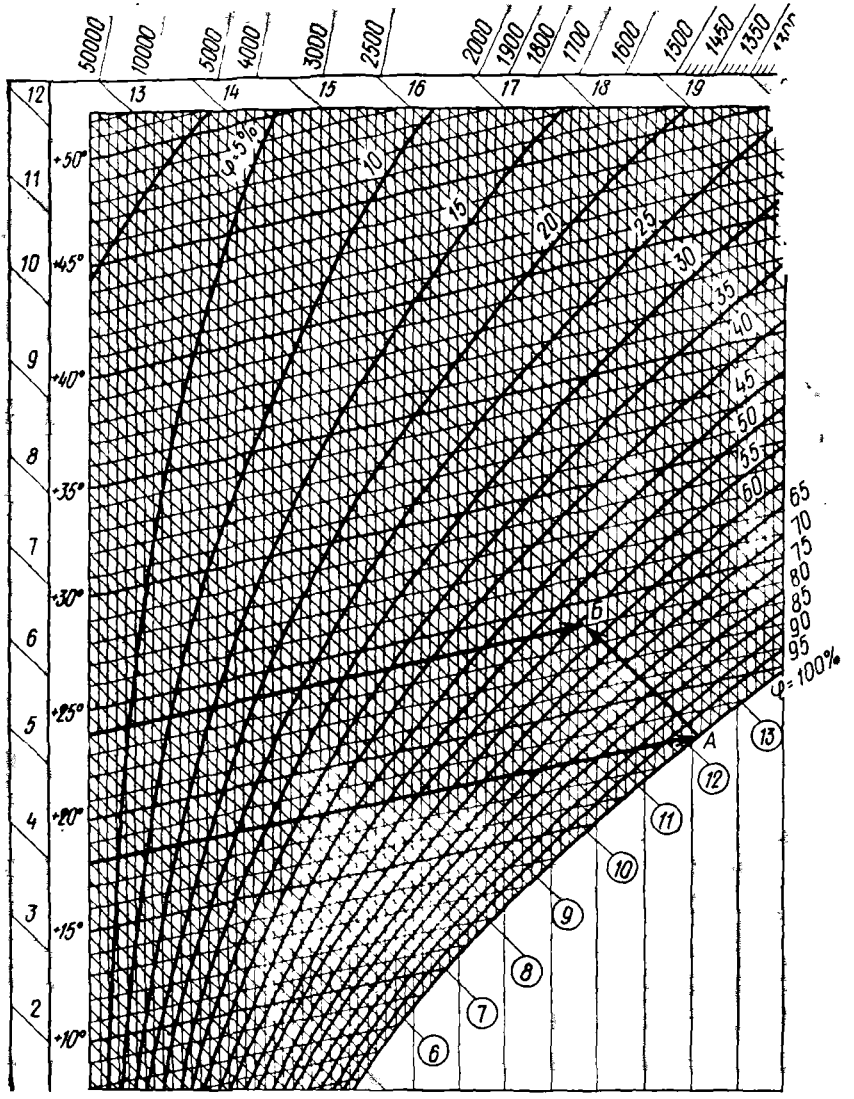


Рис. VI.17. Определение относительной влажности по $i-d$-диаграмме

руются на диаграммной ленте. В зависимости от модификации выпускаются недельные и суточные гигрографы М-21.

Чувствительным элементом прибора является пучок обезжиренных человеческих волос (30—40 шт.), укрепленный на рамке. Пучок волос притянут за середину крючком к рычажной системе, которая передает движение стрелки с пером. Изменение длины пучка волос при изменении относительной влажности воздуха передается записывающему механизму. При увеличении относительной влажности воздуха пучок волос удлиняется и стрелка с пером идет вверх, а при уменьшении — опускается вниз. Приемная часть

прибора защищена от механических повреждений защитной рамкой. В остальном конструкция прибора аналогична конструкции термографа М-16А.

Гигрограф М-32 отличается от гигрографа М-21 конструкцией чувствительного элемента, в качестве которого в нем применена круглая мембрана, изготовленная из специально обработанной гигроскопической органической пленки с жестким центром, служащим для соединения ее с механизмом прибора. При увеличении относительной влажности воздуха прогиб мембраны увеличивается и стрелка с пером передвигается вверх, при уменьшении — опускается вниз.

Гигрографы не являются абсолютными приборами и при использовании их для определения относительной влажности воздуха необходимо предварительно ввести поправки относительно показаний психрометра и периодически их контролировать путем сравнения с этими показаниями.

Во всех случаях, когда при ремонте приходится разбирать систему передаточного механизма или снимать и заменять чувствительный элемент влажности, требуется проведение новой регулировки и поверки прибора. Регулировка, поверка гигрографа и выдача нового поверочного свидетельства после ремонта производится в Центральном бюро поверки ГГО ГУГМС, Бюро поверки местных управлений гидрометеослужбы или на заводе-изготовителе. Для измерения относительной влажности воздуха и температуры в производственных помещениях и системах кондиционирования воздуха разработан измеритель относительной влажности переносной ВПГ-103, технические данные которого приведены ниже.

Техническая характеристика измерителя влажности ВПГ-103

Диапазон измерения влажности, %	40–80; 60–90
Диапазон измерения температуры, °С	15–35
Основная погрешность измерения:	
относительной влажности воздуха, %	±5
температуры, °С	±1
Питание прибора	две батареи КБС-Л-0,5
Потребляемая мощность, МВТ	не более 50
Габаритные размеры, мм	260×205×95
Масса прибора с батареями питания, кг	не более 2,0

Чувствительным элементом измерителя влажности является калиево-натриевый датчик типа ЭВЧ-01Т или ЭВЧ-02Т, изменяющий сопротивление влагочувствительной пленки R_φ в зависимости от относительной влажности воздуха. Датчик включен в мостовую измерительную схему. При измерении температуры среды характеристика датчика тоже изменяется, поэтому в приборе предусмотрена компенсация температурной погрешности с помощью терморезисторов R_{t_1} и R_{t_2}. Датчиком температуры является терморезистор R_{t_3}, включенный в плечо мостовой измерительной схемы. Переклю-

чателем схемы измерения относительной влажности воздуха или температуры подключаются ко входу электронного усилителя и выпрямителя. На выходе усилителя включен стрелочный индикатор, шкала которого проградуирована в процентах относительной влажности воздуха и градусах Цельсия.

Измерение интенсивности тепловой радиации осуществляется приборами, называемыми актинометрами. В настоящее время наиболее распространенным является актинометр ЭТМ. Актинометр ЭТМ предназначен для измерения интенсивности тепловой радиации в производственных условиях в диапазоне 0—20 кал/(см^2·мин). Шкала прибора отградуирована в калориях, цена одного деления 0,5 кал/(см^2·мин).

Принцип действия прибора основан на термоэлектрическом эффекте — возникновении электрического тока в замкнутой цепи, состоящей из разнородных металлов, при наличии разности температур на концах спаев. В качестве приемников тепловой радиации в приборе использована термоэлектрическая батарея — ряд термопар, соединенных между собой последовательно, при этом положительные спаи термопар механически присоединены к пластинам со степенью черноты, близкой к абсолютно черному телу, а отрицательные — к пластинам с высокой отражательной способностью. При попадании на пластины тепловой радиации «черные» пластины интенсивно нагреваются, и в цепи термоэлектробатарей возникает электрический ток. Он измеряется гальванометром, вмонтированным в корпус прибора, шкала которого отградуирована в единицах тепловой радиации. Актинометр работает в вертикальном положении. Перед измерением тепловой радиации стрелку гальванометра винтом механической коррекции устанавливают в нулевое положение при закрытом от радиации теплоприемнике. В сторону излучающего тела термоприемник направляют из точки, в которой необходимо измерить тепловую радиацию, и открывают крышку. Через 2—3 с отсчитывают показания по шкале прибора, после чего крышку закрывают. Крышка во время измерений является экраном, защищающим руку оператора от перегрева. Термоприемник не рекомендуется оставлять открытым продолжительное время, особенно при измерениях большой радиации, так как теплоотражающие пластины вследствие теплопроводности нагреваются, что ведет к ошибкам в измерениях.

Все измерения, связанные с определением **потребляемой электродвигателем мощности**, осуществляет эксплуатационный персонал предприятий, на которых выполняются работы по испытанию и наладке вентиляционных систем. Для этих измерений предназначен переносной измерительный комплект К-50, с помощью которого измеряется сила тока до 50 А, напряжение до 600 В и мощность до 30 кВт в однофазных и трехфазных трех- и четырехпроводных цепях переменного тока при равномерной и неравномерной нагрузках фаз. Для расширения пределов измерения по току до 600 А используют блок измерительных трансформатров тока И508М (поставляются с комплектом).

Для измерения тока, напряжения и мощности в разных фазах схема предусматривает возможность быстрого переключения приборов комплекта из одной фазы в другую с помощью переключателя фаз.

На панели из изоляционного материала смонтированы элементы схемы измерительного комплекта. Группы зажимов «Ген» (генератор) и «Нагр» (нагрузка) для подключения соответственно источника питания и нагрузки. Фазоуказатель кратковременного включения предназначен для проверки чередования фаз.

Порядок работы с комплектом К-50 следующий. Выключают напряжение, подводимое к цепям, в которых необходимо произвести измерение. Включают комплект в схему для измерения, подключив источник питания к группе зажимов, обозначенной «Ген», а нагрузку — к группе зажимов, обозначенной «Нагр». При этом следует иметь в виду, что подключение комплекта К-50 можно производить только при отключенном источнике питания. Зажим заземления должен быть соединен с заземляющим устройством.

Для измерения **частоты вращения** служат приборы, называемые тахометрами. Тахометр часовой ТЧ10-Р предназначен для измерения частоты вращения 50 — 10 000 мин$^{-1}$ и линейных скоростей 1 — 1000 м/мин путем непосредственного присоединения. Допустимая погрешность показаний при измерении частоты вращения ± 1 %, линейных скоростей ± 2 %. Цена деления: большой шкалы частоты вращения — 10 мин$^{-1}$, малой — 1000 мин$^{-1}$; большой шкалы линейной скорости — 1 м/мин, малой — 100 м/мин. Габаритные размеры $25 \times 73 \times 130$ мм. Масса прибора с наконечником 0,26 кг.

Тахометр состоит из счетного и часового механизмов и механизма возврата стрелки. Для измерения частоты вращения применяют наконечники двух видов с прямым и обратным конусами. Для измерения линейной скорости служит дисковый наконечник. Наконечники должны быть плотно насажены на вал тахометра и не должны спадать под действием собственной силы тяжести.

Частоту вращения измеряют в следующем порядке. Наконечник приводного вала прижимают к торцу испытуемого вала так, чтобы их оси совпали и вал тахометра стал вращаться. При измерении частоты вращения измеряемый вал должен иметь на торце центровочный элемент, а вал тахометра должен быть соосным с измеряемым валом. Нажимают и отпускают кнопку «Пуск». При этом часовой механизм тахометра должен начать работать. После остановки механизма отсоединяют наконечник тахометра от измеряемого вала и отсчитывают показания по малой и большой шкалам прибора. Результат записывают в виде суммы показаний малой и большой шкал.

Пример VI.8. После произведенного измерения стрелка малой шкалы остановилась между цифрами 1 и 2, а стрелка большой шкалы — на делении 480. При этом истинная частота вращения равна $1 \times 1000 + 480 = 1480$ мин$^{-1}$.

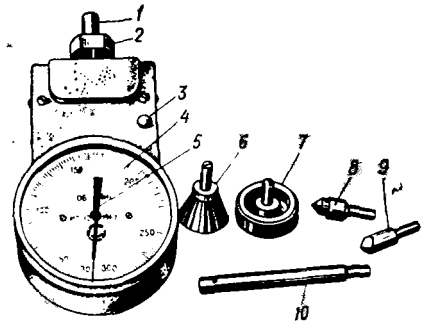


Рис. VI.18. Тахометр ИО-10

1 — указатель диапазонов частоты вращения; *2* — приводной вал; *3* — кнопка переключения диапазонов; *4* — шкала; *5* — указательная стрелка; *6, 7* — резиновый шкив соответственно с внутренним конусом и дисковый; *8, 9* — наконечник с прямым конусом соответственно резиновым и металлическим; *10* — удлинитель

Для измерения линейной скорости на приводной вал тахометра насаживают дисковый наконечник, затем прижимают его цилиндрической поверхностью к поверхности, линейная скорость которой измеряется так, чтобы ось вала была соосна с направлением ее движения. Дальнейшие действия те же, что и при измерении частоты вращения.

Между последовательными включениями тахометра следует сделать выдержку 30 с во избежание искажения показаний прибора. К следующему измерению прибор подготовляют нажатием кнопки возврата стрелок на ноль.

После 400 замеров рекомендуется смазывать подшипник приводного вала тахометра, для чего необходимо поворотом предохранительной муфты совместить отверстие в ней с отверстием в подшипнике и закапать две-три капли масла. Поворотом муфты закрывают отверстие. Для смазки рекомендуется применять вазелиновое масло. Прибор изготовляют на Челябинском часовом заводе.

Тахометр ИО-10 (рис. VI. 18) предназначен для измерения частоты вращения от 25 до 10 000 мин$^{-1}$ в пяти диапазонах. Погрешность измерения прибора ± 2 % максимального предела в каждом диапазоне.

Перед измерением тахометр устанавливают на нужный диапазон измерения частоты вращения, для чего нажимают на кнопку, перемещая вал в продольном направлении и одновременно поворачивая его, устанавливают указатель диапазона на нужный предел.

Недопустимо измерять частоту вращения выше максимального предела диапазона, так как это приводит к поломке прибора. При неизвестном диапазоне измеряемой частоты вращения тахометр устанавливают на самый верхний предел (25 — 10 000 мин$^{-1}$), а затем, если стрелка при измерении не отклоняется, устанавливают меньший диапазон (750 — 3000 мин$^{-1}$) и т. д. до необходимого диапазона измерения.

В диапазонах 75 — 300 и 750 — 3000 мин$^{-1}$ частоту вращения отсчитывают по внешней шкале, в остальных диапазонах — по внутренней. В диапазонах 250—1000 и 750—3000 мин$^{-1}$ показания тахометра необходимо умножить на 10, в диапазоне 2500 — 10 000 мин$^{-1}$ — на 100.

При частоте вращения, большей 750 мин$^{-1}$, на вал тахометра надевают резиновый наконечник, при меньшей частоте — металли-

ческий наконечник. Для измерения наконечник приводного вала прижимают к центру вращающегося вала на время, не больше 4 — 5 с, и за это время замечают деление на шкале прибора, где остановилась стрелка. Если доступ к центру вращающегося вала затруднен, то на приводной вал тахометра надевают удлинитель. Если торец вала не зацентрован, то используют шкивы, которые прижимаются к вращающейся поверхности вала. При этом частота вращения n, мин$^{-1}$,

$$n = n_т d_ш / d_в,$$

где $n_т$ — показания тахометра, мин$^{-1}$; $d_ш$ и $d_в$ — диаметр соответственно шкива и вала, мм.

При невозможности присоединения боковой поверхности шкива к поверхности вала, частота вращения которого измеряется, перекидывают шнурок через измеряемый вал, завязывают его, надевают на канавку шкива и при нормальном натяжении производят измерения. Частоту вращения подсчитывают по приведенной выше формуле при $d_ш = 25$ мм.

Тахометр ИО-30 предназначен для измерения частоты вращения от 30 до 30 000 мин$^{-1}$ в трех диапазонах. Погрешность измерения составляет ± 2 % верхнего предела диапазона. Диапазоны переключаются при отсоединенном тахометре поворотом переключателя диапазонов вокруг оси приводного вала. Переключение диапазонов при вращающемся приводном вале не допускается. В приборе предусмотрена фиксация указательной стрелки. Возврат стрелки на ноль происходит при отпускании кнопки. Измерение тахометром ИО-30 проводят так же, как тахометром ИО-10.

Приборы для измерения шума. Для измерения всевозможных шумовых характеристик применяют специальные приборы — шумомеры. Шумомер представляет собой автономный переносной прибор, позволяющий измерять в децибелах уровни интенсивности звука в широких пределах.

Шумомер состоит из высококачественного микрофона, широкополосного усилителя, переключателя чувствительности, меняющего усилие ступенями до 10 дБ, переключателя частотных характеристик и стрелочного индикатора, шкала которого градуирована в децибелах. На лицевой панели шумомеров, помимо основных органов управления, имеются гнезда, позволяющие подключать к схеме различные дополнительные устройства: частотные и амплитудные анализаторы, фильтры, самописцы и другие приборы. В СССР выпускаются шумомеры промышленного производства типов МИУ, ША-63, Ш-3М, Ш-71, ИШВ-1.

Измеритель шума и вибрации ИШВ-1 предназначен для измерения действующих уровней звукового давления, виброускорения, виброскорости в октавных полосах частот и уровней звука по коррекции А, В, С. Прибор используется при измерении шума и вибрации машин, механизмов, сооружений и других источников. Прибор переносной с сетевым и автономным питанием и может эксплуатироваться в лабораторных, цеховых и полевых условиях. Питается прибор от сети переменного тока или от батарей.

С помощью приборов ИШВ-1 определяют действующие общие и октавные уровни:

звуковое давление 30 — 150 дБ относительно порогового значения $2 \cdot 10^{-5}$ Па в диапазоне частот 20 — 12 500 Гц;

амплитудно-частотные характеристики по коррекциям А, В, С в соответствии с требованиями ГОСТ 13761 — 73;

амплитудно-частотные характеристики октавных полос со среднеминальными частотами 16; 31; 50; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

В приборе предусмотрен выходной разъем для подключения регистрирующей и анализирующей аппаратуры (самописец, магнитофон) с выходным сопротивлением не менее 15 Ом. Прибор ИШВ-1 позволяет производить измерения на объектах, удаленных от аппаратуры на расстоянии до 30 м. Он имеет динамические режимы «Быстро» и «Медленно». По своим техническим характеристикам измеритель шума ИШВ-1 относится к шумомерам второго класса точности по ГОСТ 17187 — 81 и ГОСТ 17168 — 82.

В комплект измерителя шума и вибрации ИШВ-1 входят следующие приборы: измерительный прибор; измерительный микрофон М-101; вибропреобразователь Д-28; датчик низкочастотный Д-13; калибровочное устройство КУ-3; пистонфон ПП-101.

На передней панели измерительного прибора установлены органы управления и разъемы. С помощью переключателя «Децибелы I» ослабляется входной сигнал ступенями по 10 дБ от 90 дБ. Переключателем «Децибелы II» ослабляется входной сигнал по 10 дБ от 0 до 40 дБ. С помощью переключателя «Род измерения» поочередно для положений А, В, С:

в положении «Лин» производится измерение без коррекции в полосе частот от 10 до 12 500 Гц;

в положении «Фильтры» к измерительному тракту подключаются октавные фильтры и производятся измерения в октавных полосах частот.

Переключатель «Род работы» имеет положения «Отк», «Контр», «Быстро» и «Медленно». В положении «Отк» прибор обесточен; в положении «Контр» на измерительный прибор подается питание от батарейного или сетевого источника питания и контролируется напряжение с помощью стрелочного прибора. Положение «Быстро» или «Медленно» соответственно меняет динамические характеристики измерительного прибора.

Переключатель «Частота» с градуировкой 16; 31; 50; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц служит для переключения октавных фильтров.

Разъем «Вход» служит для подключения предварительного усилителя, датчика вибрации и микрофона к измерительному прибору; разъем «Выход» — для подключения амплитудных анализаторов, самописцев, осциллоскопов и других приборов; разъем «Калибр» — для проведения электрической калибровки измерительного прибора.

Два отверстия предусмотрены для доступа к двум переменным резисторам, с помощью которых при электрической калибровке

производится регулировка коэффициента усиления по двум каналам, в зависимости от положения тумблера «Микрофон», «Датчик». Для контроля работы измерительного прибора предусмотрена специальная лампочка.

При подготовке прибора к работе устанавливают в прибор сетевой или батарейный блок питания, подключают предварительный усилитель. Переключатель «Род работ» устанавливают в положение «Контр», при этом стрелка прибора должна находиться в секторе «Батарея», а сигнальная лампочка должна мигать. Производят механическую и электрическую калибровку прибора. Подключают микрофон к предварительному усилителю, после чего прибор готов к работе. При измерении уровня звукового давления переключатели измерительного прибора устанавливают в следующие положения: «Децибелы I» — в положение —«90»; «Децибелы II» — в положение «40»; «Род измерения» — в положения А,Б или С в зависимости от коррекции, с которой необходимо произвести измерения; тумблер «Микрофон — Датчик» — в положение «Микрофон»; «Род работы» — в положение «Быстро». Если во время измерений стрелка прибора располагается в левой части шкалы, то необходимо изменением положения переключателей «Децибелы I» и «Децибелы II» перевести ее в правую часть шкалы. Результат записывают в виде суммы показаний переключателей «Децибелы I» и «Децибелы II» и стрелочного прибора.

Пример VI.9. При измерении уровня звукового давления переключатели были в следующих положениях: «Децибелы I» — в положении «50»; «Децибелы II» — в положении «10»; стрелка прибора — на делении «6». Результат измерений равен: 50+10+6=66 дБ.

При измерениии уровней звукового давления в октавных полосах частот переключатели устанавливают в тех же положениях, что и при измерении уровня звукового давления. С помощью переключателей «Децибелы I» и «Децибелы II» стрелку прибора устанавливают в правую часть и переключатель «Род измерений» переводят в положение «Фильтры». Производят измерения при положениях переключателя «Частота»: «63», «125», «250», «500», «1000», «2000», «4000» и «8000» Гц. Отсчет производят так же, как и при измерении уровня звукового давления.

Поверка измерительного прибора ИШВ-1 производится организациями, имеющими право поверки, не реже 1 раза в год, а также после каждого его ремонта или замены элементов. Методика измерений должна соответствовать ГОСТ 20445 — 75. Для оценки параметров шума на постоянных рабочих местах производственных помещений измерения производят в точках, соответствующих постоянным рабочим местам. Если рабочие места не постоянные, то измерения следует производить в нескольких точках так, чтобы охватить возможно большую часть рабочей зоны. Минимальное число точек измерения в рабочей зоне — три.

Для оценки шумового режима в производственных помещениях число и расположение точек измерения следует принимать следующим образом:

для помещений с однотипным технологическим оборудованием — не менее чем на трех постоянных рабочих местах или на трех соответствующих участках зоны при постоянных рабочих местах;

для помещений с групповым размещением однотипного технологического оборудования — на постоянном рабочем месте или соответствующем участке рабочей зоны в центре каждой группы оборудования;

для помещений со смешанным размещением разнотипного технологического оборудования — не менее чем на трех постоянных рабочих местах или на трех участках рабочей зоны соответственно для каждого типа оборудования;

для помещений с одиночно работающим технологическим оборудованием — на постоянном рабочем месте или в рабочей зоне этого оборудования.

Для оценки параметров шума, создаваемого одиночно работающим технологическим оборудование или оборудованием вентиляции в производственном помещении, измерения следует производить на постоянном рабочем месте или в рабочей зоне этого оборудования при остановленном остальном технологическом оборудовании.

В производственных помещениях, не имеющих «шумного» технологического оборудования, измерения следует производить на трех постоянных рабочих местах или на трех участках рабочей зоны, ближайших к источникам внешнего шума, при закрытых и открытых проемах в ограждающих конструкциях (окна, двери и т. д.) и включенных оборудовании, вентиляции и других источниках шума внутри помещений.

Микрофон следует располагать на высоте 1,5 м над уровнем пола или рабочей площадки (если работа выполняется стоя) или на высоте головы человека, подвергающегося воздействию шума (если работа выполняется сидя). Он должен быть направлен в сторону источника шума и удален не менее чем на 0,5 м от человека, производящего измерения.

Измерения шума для контроля соответствия фактических уровней шума на рабочих местах допустимым уровням по действующим нормам должны производиться при работе не менее двух-трех установленных в данном помещении единиц технологического оборудования в наиболее часто реализуемом (характерном) режиме его работы. Должны быть включены оборудование, вентиляция, а также другие обычно используемые в помещении устройства, являющиеся источниками шума. При измерении шумов шумомер необходимо включать в положение «Медленно» и отсчет снимать по среднему положению стрелки (при ее колебаниях). Для импульсных шумов следует дополнительно производить измерения в положении «Импульс» или «Быстро» с отсчетом максимального показания стрелки.

VI.2. Испытание и наладка местных отсосов

При испытании местного отсоса определяют его аэродинамическую характеристику и эффективность. До начала испытаний местного отсоса необходимо:

детально ознакомиться с технологическим процессом, характером выделяющихся вредных веществ; определить основные характеристики работы технологического оборудования, влияющие на количество выделяющихся вредных веществ, теплоты и влаги (например, диаметр и частота вращения шлифовальных кругов; тип и диаметр электрода, сила тока при электродуговой сварке и т. п.);

определить основные выделяющиеся вредные вещества (например, в окрасочных камерах — пары растворителей, при электродуговой сварке — пыль, окись марганца, окись азота и т. д.);

выявить характер распределения вредных веществ, тепловыделений и влаги;

устранить влияние воздушных потоков (в том числе и приточного воздуха) на распространение вредных веществ, теплоты и влаги по помещению;

убедиться в исправности местного отсоса и местной вытяжной вентиляционной системы, к которой присоединен отсос;

детально ознакомиться с устройством местного отсоса для оценки целесообразности принятого конструктивного решения, правильности расположения местного отсоса по отношению к источнику выделения вредных веществ, теплоты и влаги.

Если в процессе подготовительных работ будет выявлена нецелесообразность конструкции местного отсоса или его неправильное расположение, то необходимо составить эскиз более рациональной конструкции местного отсоса или более целесообразной привязки его к источнику выделения вредных веществ, теплоты и влаги. После согласования изменений конструкции местного отсоса с технологами следует осуществить монтаж опытного отсоса с дросселирующим устройством на одном из подобных технологических аппаратов и присоединить его на время испытаний к воздуховоду существующей местной вытяжкой вентиляционной системы или специально смонтированной на время испытаний временной вентиляционной системы.

При разработке конструкции опытного отсоса для предварительного определения расхода воздуха, который должен удаляться местным отсосом, рекомендуется использовать имеющиеся опытные или нормативные данные. Диаметр патрубка опытного отсоса следует подбирать с учетом предварительно определенного количества воздуха. Все выявленные недостатки и дефекты местного отсоса, влияющие на его работу, должны быть устранены до испытания. Испытания местных отсосов производят в соответствии с «Методическими указаниями по производственным испытаниям местных отсосов» (Серия АЗ-542и).

Испытания местных отсосов допускается производить по следующей методике. Все отсосы по характеру локализации ими вред

ных веществ, теплоты и влаги, а следовательно, по специфике их испытаний, подразделяют на три группы:

первая — отсосы, полностью укрывающие источник вредных веществ, теплоты и влаги (герметичные укрытия и технологические аппараты);

вторая — отсосы, в которых источник вредных веществ, теплоты и влаги не выходит за пределы рабочего проема (шкафы, витрины и т. п.);

третья — отсосы, у которых источник вредных веществ, теплоты и влаги находится в зоне всасывающего факела за пределами всасывающего отверстия (бортовые отсосы, панели, зонты, воронки и т. п.).

При испытании отсосов первой группы определяют минимальное количество отсасываемого воздуха $L_{мин}$, м³/ч, при этом учитывают наличие разрежения в укрытии и технологическом аппарате p_s, Па.

При испытании отсосов второй группы также определяют минимальное количество отсасываемого воздуха $L_{мин}$, м³/ч, в котором содержание вредных веществ, а также выделений теплоты и влаги на рабочих местах, обслуживаемых отсосами, не будет увеличено за счет источников, оборудованных этими отсосами. При этом находят: статическое, динамическое и полное давления в отсасывающем патрубке отсоса (p_s, p_d и p, Па). Среднюю скорость движения воздуха в рабочем проеме (отверстии) отсоса v_m, м/с. Средняя скорость в рабочем проеме (отверстии) отсоса может быть определена по формуле

$$v_m = L_{min}/3600F, \qquad (VI.19)$$

где F — площадь рабочего проема (отверстия) местного отсоса, м².

Коэффициент местного сопротивления отсоса вычисляют по формуле

$$\zeta = p/p_d. \qquad (VI.19)$$

При испытании отсосов третьей группы определяют оптимальный расход отсасываемого воздуха $L_{опт}$, м³/ч, при котором: $(C_{р.з}-C_{под}) \leqslant 0{,}8C_{доп}$; $(i_{р.з}-i_{под}) \leqslant 0{,}8i_{доп}$ и $(d_{р.з}-d_{под}) \leqslant 0{,}8d_{доп}$, здесь $C_{р.з}$, $i_{р.з}$, $d_{р.з}$ — соответственно содержание вредных веществ, мг/м³, удельная энтальпия, кДж/кг, и влагосодержание, г/кг, в воздухе рабочей зоны; $C_{под}$, $i_{под}$, $d_{под}$ — то же, в воздухе, подтекающем к всасывающему отверстию, но вне зоны источника вредных веществ, тепло- или влаговыделений и возможного их выбивания; $C_{доп}$, $i_{доп}$, $d_{доп}$ — то же, в воздухе рабочей зоны. При этом вычисляют $L_{мин}$, p_s, p_d, p, v_m и ζ.

Для установок пневмотранспорта определяемое оптимальное количество воздуха должно обеспечивать транспортирование расчетного количества материала. При этом вредных веществ на рабочем месте, обслуживаемом отсосом, практически, может не быть.

При испытании местных отсосов коэффициент эффективности отсоса η находят по формуле

$$\eta = G_л/G, \qquad (VI.21)$$

где $G_л$ и G — количество вредных веществ, соответственно локализованных отсосом и выделяющихся от источника (например, г/ч).

В условиях действующего производства коэффициент эффективности отсоса рекомендуется определять следующим образом. Если в помещении установлен местный отсос у одного имеющегося источника вредных веществ, тепло- или влаговыделений и воздухообмен осуществляется только в результате работы этого отсоса, то коэффициент эффективности следует вычислять по формуле

$$\eta = (K_{м.о} - K_{под})/(K_{м.о} - K_{пр}), \qquad (VI.22)$$

где $K_{м.о}$ — концентрация вредных веществ, мг/м³, энтальпия, кДж/кг, или влагосодержание, г/кг, в воздухе, удаляемом местным отсосом; $K_{под}$ — то же, в воздухе, подтекающем к всасывающему отверстию, но вне зоны источника вредных веществ, тепло- или влаговыделений и возможного их выбирания; $K_{пр}$ — то же, в приточном воздухе.

Если в помещении установлен местный отсос у одного имеющегося источника вредных веществ и воздухообмен осуществляется в количестве большем, чем расход воздуха местным отсосом, то коэффициент эффективности следует определять по формуле

$$\eta = L_{м.о}(K_{м.о} - K_{под})/L_{м.о}(K_{м.о} - K_{пр}) + L_0(K_0 - K_{пр}), \qquad (VI.23)$$

где $L_{м.о}$ — количество воздуха, удаляемого местным отсосом от источника вредных веществ, тепло- или влаговыделений, м³/ч; L_0 — количество воздуха, удаляемого из помещения помимо местного отсоса, м³/ч; K_0 — содержание вредных веществ, мг/м³, энтальпия, кДж/кг, или влагосодержание, г/кг, в воздухе, удаляемом из помещения помимо местного отсоса.

Если в помещении, где установлен местный отсос, имеются другие источники тех же вредных веществ, тепло- или влаговыделений, то коэффициент эффективности необходимо определять по общей формуле (VI. 21). Этой же формулой можно пользоваться, когда трудно определить фактические параметры, входящие в формулы (VI. 22) и (VI. 23). Количество вредных веществ, тепло- или влаговыделений G от источника их образования следует определять по воздушно-газовому (тепловому, влажностному) балансу отсоса. Для этого надлежит принять меры, обеспечивающие во время составления баланса полную локализацию вредных веществ, тепло- или влаговыделений от источника (установить временные шторки, ограждающие щитки, увеличить расход воздуха отсоса и т. п.). Если этого сделать нельзя, то должны быть созданы условия, исключающие возможность загрязнения воздуха в местах отбора проб другими возможными источниками выделения тех же вредных веществ, теплоты или влаги. Количество вредных веществ, тепло- или влаговыделений, локализуемых местным отсосом $G_л$, следует вычислять при обычном эксплуатационном состоянии местного отсоса по формуле

$$G_л = L_{м.о}(K_{м.о} - K_{под}). \qquad (VI.24)$$

Количество удаляемого местным отсосом воздуха необходимо определять следующим образом:

установить с помощью дросселирующего устройства минимальный расход воздуха, при котором визуально не наблюдается выбивания вредных веществ;

произвести отбор пяти проб воздуха (для определения тепло- и влаговыделений замерить 5 раз параметры воздуха) на рабочем месте у отсоса и столько же в отсасывающем патрубке местного отсоса;

отобрать пробы воздуха (для определения тепло- и влаговыделений замерить параметры воздуха) при нескольких (двух-трех) значениях расхода, меньших и больших первоначально установленного;

построить в прямоугольных координатах зависимости содержания вредных веществ (энтальпии или влагосодержания) на рабочем месте у отсоса от расходов воздуха и содержания вредных веществ (энтальпии или влагосодержания) в отсасывающем патрубке местного отсоса от расходов воздуха. По графикам определяется необходимое количество удаляемого воздуха.

Если местный отсос установлен у технологического оборудования, выделяющего пыль, то необходимо определять дисперсный состав пыли. При этом пробы воздуха следует отбирать при оптимальном или минимальном расходе воздуха. При наличии у технологического оборудования местных отсосов разных типоразмеров испытанию подвергаются только один отсос из каждой группы однотипных и одноразмерных отсосов. Результаты, полученные при испытании местных отсосов, сводятся в таблицы.

VI.3. Регулирование воздухораспределительных устройств

Обследование состояния воздушной среды в помещениях начинают с ознакомления с проектной документацией, технологическим процессом, смонтированными системами, характером выделяющихся вредных веществ. На основании предварительного обследования выявляют основные факторы, определяющие характер распределения вредных веществ, температуры, влажности и подвижности воздуха в обслуживаемой зоне, а именно: объемно-планировочные решения, габариты и размещение технологического оборудования, расположение воздухораспределительных и вытяжных устройств и их типы.

Испытания проводятся по всему помещению или, если есть возможность, для испытаний выбирается участок (вентиляционный модуль), характерный для данного помещения по расположению приточных и вытяжных устройств, а также по виду и расположению технологического оборудования и количеству выделяющихся вредных веществ.

Системы вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления, обслуживающие помещение (участок испытания и

смежные с ним участки), выводятся на проектные данные. Фактический расход приточных и вытяжных систем, расходы воздуха через воздухораспределители и вытяжные устройства, а также температура и влажность приточного воздуха не должны отличаться от расчетных значений более чем на ± 10 %.

Для составления воздушных, тепловых и газовых балансов помещения, а также распределения параметров воздушной среды в пределах помещения (участка испытаний) определяют расход воздуха, подаваемого в помещение (на участок испытаний) и удаляемого из него; температуру, влажность и содержание вредных веществ в приточном и удаляемом воздухе; количество вредных веществ, выделяемых технологическим оборудованием; количество теплоты, поступающей в помещение от нагревательных приборов, от инсоляции (на участках испытаний), а также от освещения (на участках испытаний).

Скорость движения воздуха, температуру, влажность воздуха и содержание вредных веществ по площади рабочей зоны помещения (участка испытаний) определяют в контрольной плоскости на уровне зоны дыхания работающих (1,8 м при стоячей работе и 1,2 м при сидячей работе, а при необходимости на высоте 0,3 м). Испытания проводят при постоянном технологическом режиме (при постоянстве расположения и числа источников выделяющихся вредных веществ), практически постоянной температуре воздуха в рабочей зоне (допускается отклонение $1-2$ °С), практически постоянных расходах поступающего и удаляемого воздуха, а также температурах, влажности и концентрациях вредных веществ (отклонения допускаются в пределах ± 5 % для температуры и влажности).

Измерения производят циклами не менее 2 раз. Если по результатам двухразовых измерений расхождение превышает 10 %, то измерения проводят третий раз для проверки и уточнения ранее полученных данных. Перед началом и после окончания каждого цикла в помещении (на участке испытаний) измеряют расходы приточного и удаляемого воздуха, их температуру, влажность и содержание в них вредных веществ. Температуру приточного и удаляемого воздуха определяют в месте истечения или в плоскости всасывания воздуха термометром с ценой деления не более 0,2 °С, а также термопарами, присоединенными к потенциометру класса точности не ниже 1,0.

Скорость, температуру, влажность и концентрацию вредных веществ в контрольной плоскости рабочей зоны определяют путем измерения этих величин в центрах квадратов или прямоугольников с отношением сторон не менее 1:2, при этом меньший размер стороны не должен превышать 0,2 длины стороны помещения (участка испытаний), а также на постоянных рабочих местах. Если в результате значительного заполнения зоны технологическим оборудованием измерения скоростей, температур и концентраций вредных веществ в точках, расположенных равномерно по площади, затруднительны, то их следует выполнять на постоянных рабочих

местах, а также в местах внедрения в рабочую зону приточных струй.

Скорости и температуры по площади рабочей зоны и на постоянных рабочих местах измеряют термоанемометрами. Контроль температур необходимо осуществлять также термометрами с ценой деления не более 0,2 °С. Время измерения скорости и температуры в точке должно быть не менее 120 с. При измерении температур и скоростей в контрольной точке следует фиксировать минимальные и максимальные значения. Желательно производить запись текущих значений температуры и скорости в точке с целью выявления частотных характеристик и средних значений.

Радиационные температуры измеряют на рабочих местах, расположенных вблизи поверхностей, температура которых ниже + 10 °С и выше + 45 °С. Измерения производят шаровым термометром в течение 10 мин. В случае необходимости измеряют распределение температур и влажность воздуха, а также концентрацию вредных веществ по высоте рабочей зоны или в помещении в характерных местах рабочей зоны. При этом выявляют характеристики и закономерности распределения скоростей, температур и концентраций вредных веществ по площади рабочей зоны. Средние значения скорости $v_{ср.р.з}$, м/с, температуры $t_{ср.р.з}$, °С и концентрации вредных веществ $C_{ср.р.з}$, мг/м^3, по площади рабочей зоны (учитывают только измерения в центрах равновеликих квадратов или прямоугольников) определяют по формулам:

$$v_{ср.р.з} = \sum_{1}^{z} v_{ср.i}/n; \qquad \text{(VI.25)}$$

$$t_{ср.р.з} = \sum_{1}^{z} t_{ср.i}/n; \qquad \text{(VI.26)}$$

$$C_{ср.р.з} = \sum_{1}^{z} C_{ср.i}/n, \qquad \text{(VI.27)}$$

где n — число измерений в центрах равновеликих квадратов (прямоугольников) площади; $v_{ср.i}$, $t_{ср.i}$, $C_{ср.i}$ — средние скорость, м/с, температура, °С, и концентрация, мг/м^3, в центрах равновеликих квадратов (прямоугольников).

При обследовании состояния воздушной среды с целью оценки эффективности работы воздухораспределительных устройств дополнительно определяют среднее квадратичное отклонение значений скорости σ_v, температуры σ_t и концентрации вредных веществ σ_C:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{z} (v_{ср.i} - v_{ср.р.з})^2}{z-1}}, \qquad \text{(VI.28)}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{z} (t_{ср.i} - t_{ср.р.з})^2}{z-1}}; \qquad \text{(VI.29)}$$

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{z} (C_{ср.i} - C_{ср.р.з})^2}{z-1}}. \qquad \text{(VI.30)}$$

Коэффициенты вариации (неравномерности распределения) скоростей $\bar{\sigma}_v$, температур $\bar{\sigma}_t$ и концентраций вредных веществ $\bar{\sigma}_C$ находят по формулам:

$$\bar{\sigma}_v = \sigma_v / v_{ср.р.з}; \qquad \text{(VI.31)}$$

$$\bar{\sigma}_t = \sigma_t / t_{ср.р.з}; \qquad \text{(VI.32)}$$

$$\bar{\sigma}_C = \sigma_C / C_{ср.р.з}. \qquad \text{(VI.33)}$$

Коэффициент санитарно-гигиенической эффективности воздухораспределения ε вычисляют в пределах каждого из равновеликих квадратов в контрольной плоскости рабочей зоны:

$$\varepsilon = F_{доп} / F_{р.з}, \qquad \text{(VI.34)}$$

где $F_{доп}$ — часть площади рабочей зоны помещения, на которой обеспечиваются санитарно-гигиенические требования; $F_{р.з}$ — площадь рабочей зоны помещения.

Перед испытанием воздухораспределителей следует проверить и откорректировать в соответствии с проектом положение каждого воздухораспределителя в целом (угла установки выпускных патрубков, высоты их подвески, отсутствия экранирования живого сечения) и отдельных его частей: регуляторов расхода, лопаток (у решеток), диффузоров и дисков (у плафонов), закручивающих устройств или турбулизаторов потока, ручных и механических приводов и др.

Следует также проверить наличие и исправность дросселирующих устройств (диафрагм) и регуляторов расхода воздуха (шиберов, клапанов) на ответвлениях перед воздухораспределителями, установить недостающие и заменить неисправные.

После предварительной проверки соответствия положения и состояния воздухораспределителей проекту проверяется и регулируется распределение расходов воздуха по воздухораспределительным устройствам. Допустимые отклонения расходов воздуха, проходящего через воздухораспределители, от проектных показателей должны соответствовать СНиП 3.05.01—85.

Обследование состояния воздушной среды в помещениях и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха в соответствии с санитарно-гигиеническими или технологическими требованиями производятся после достижения полной технологической нагрузки вентилируемых помещений.

Наладка систем воздухораспределения производится при рабочих разностях температур и значениях тепло- и влагоизбытков, близких к проектным. Если при составлении балансов по теплоте, влаге или газам выявлено существенное отличие количеств поступающих вредных веществ от проектных в расчетном режиме и невозможно ограничить их поступление до расчетных уровней, следует произвести перерасчет воздухообменов на ассимиляцию фактических количеств вредных веществ и выяснить возможность удовлетворительной работы систем вентиляции и кондиционирования в этих условиях без коренной реконструкции, только за счет наладки.

Наладка воздухораспределения систем вентиляции и кондиционирования, работающих с переменным количеством подаваемого воздуха, производится для режимов максимального и минимального расходов. Регулирование воздухораспределения в системах круглогодичного кондиционирования воздуха производится в режиме охлаждения помещений. В режиме нагрева достаточно выполнить контрольные испытания. При реконструкции систем воздухораспределения рекомендуется применять унифицированные конструкции.

Количественные показатели состояния воздушной среды в помещении — локальные и средние значения температур, относительной влажности, скоростей движения воздуха и концентраций вредных веществ должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005—76, СН 245-71, СНиП II-33-75 * и действующих союзных и отраслевых норм и рекомендаций.

Ненормируемые величины ε, σ_t, σ_φ, σ_v, σ_C, $\bar{\sigma}_t$, $\bar{\sigma}_\varphi$, $\bar{\sigma}_v$, $\bar{\sigma}_C$, также полученные в результате обследования должны использоваться для сравнительной оценки санитарно-гигиенической эффективности различных систем воздухораспределения.

Для кондиционируемых помещений нормируются отклонения температур и относительной влажности от средних значений σ_t и σ_φ, определяемых по формулам:

$$\sigma_t = t_i - t_{\text{ср.р.з}}; \qquad \text{(VI.35)}$$

$$\sigma_\varphi = \varphi_i - \varphi_{\text{ср.р.з}}, \qquad \text{(VI.36)}$$

где t_i, φ_i — температура и относительная влажность в i-й точке; $t_{\text{ср.р.з}}$, $\varphi_{\text{ср.р.з}}$ — средняя температура и относительная влажность в рабочей зоне.

Для этих помещений σ_t и σ_φ не должны превышать 1/3 своих значений.

По результатам измерений параметров воздушной среды рекомендуется выявить на плане помещения зоны дискомфорта в пределах рабочей зоны. Их расположение на уровне рабочей (обслуживаемой) зоны определяется построением линий равных температур, скоростей и концентрации вредных веществ. При этом следует учесть, что малые значения ε и большие значения σ_t, σ_v, σ_C указывают на наличие зон, где превышаются допустимые значения t, v, C, но расположение и размеры этих зон могут быть различны-

ми при одинаковых значениях ε, σ_t, σ_v, σ_C, что выявляется только графическим построением.

Регулированию подлежит смена воздухораспределения в целом, обслуживающая данное помещение, если зоны дискомфорта встречаются по всей линии, или отдельные ее ветви, обслуживающие локализованные участки, на которых значения температуры, скорости воздуха или концентрации вредных веществ превышают допустимые. Объем работ при наладке системы воздухораспределения в соответствии с санитарно-гигиеническими или технологическими требованиями определяется степенью и характером нарушений нормативных требований к параметрам воздушной среды.

Если зоны дискомфорта охватывают относительно небольшую часть площади рабочей зоны, и величина ε находится в пределах 80 — 100 %, следует:

а) проверить равномерность распределения скоростей в выпускных сечениях воздухораспределителей, обслуживающих данные участки, и, если отклонение скорости от средней по сечению выше 30 %, отрегулировать распределение воздуха по сечению путем обеспечения равномерного подвода его к воздухораспределителям;

б) выявить траектории приточных струй путем визуализации потока задымлением, внесением нитей и т. д.

Если застойные зоны образуются при подаче струи в рабочую зону сверху, то необходимо увеличить угол наклона или уменьшить высоту расположения воздухораспределителей. Если застойные зоны образуются при подаче струи непосредственно в рабочую зону через эжекционные панели, то следует установить дополнительные воздухораспределители вблизи от зон дискомфорта; при образовании застойных зон при подаче воздуха закрученными струями необходимо уменьшить степень закрутки;

в) выяснить степень влияния на приточные струи технологического оборудования, строительных конструкций и прочих механических препятствий для прохода воздуха. При наличии зон, постоянно находящихся в аэродинамической тени, необходимо установить дополнительные воздухораспределители для их обслуживания или изменить место установки ближайших воздухораспределителей так, чтобы указанные зоны попали в зону обслуживания;

г) при распределении участков с превышением нормируемых параметров (t, φ, C) вблизи источников поступления соответствующих вредных веществ и равномерной по площади подаче воздуха в рабочую зону установить характер распределения вредных веществ по площади помещения и при необходимости перераспределить объем притока по отдельным воздухораспределителям пропорционально количеству тепло-, влаго- или газовыделений в соответствующих зонах. При рассредоточенной вытяжке возможно аналогичное перераспределение объемов вытяжного воздуха, которое дает меньший эффект, чем регулирование притока.

Если величина ε находится в пределах 70 — 80 %, то имеются равномерно повторяющиеся зоны дискомфорта с заметным превы-

шением в них доступных значений $t_{доп}$, $\varphi_{доп}$, $v_{доп}$ (или ПДК). В этом случае необходимо:

а) при выявлении траекторий приточных струй учитывать, что причиной появления больших зон дискомфорта может быть искажение расчетных траекторий неизотермических струй, подаваемых в верхнюю зону;

б) если зоны дискомфорта при наклонной подаче воздуха воздухораспределителем расположенны равномерно и находятся на границах четырех смежных модулей, обслуживаемых отдельными воздухораспределителями, то при повышенной скорости движения воздуха в рабочей зоне следует уменьшить скорость его выпуска (для чего уменьшить расход воздуха, пропорционально увеличив рабочую разность температур) или заменить воздухораспределители на больший типоразмер, или установить рассеиватели для увеличения угла раскрытия струй; при низкой скорости движения воздуха в рабочей зоне и повышенной температуре, т. е. при образовании застойных зон на границах модулей, следует увеличить скорость его выпуска (заменить воздухораспределители на меньший типоразмер или уменьшить площадь живого сечения) или установить в застойных зонах дополнительные воздухораспределители или местные кондиционеры.

При величине ε до 50 %, когда на большей части площади рабочей зоны не обеспечиваются нормативные требования к параметрам воздушной среды и не только локальные, но и средние значения $t_{ср}$, $\varphi_{ср}$, $v_{ср}$, $C_{ср}$ значительно превышают допустимые, а наладка или частичная реконструкция систем воздухораспределения не дает должного эффекта, требуется полная реконструкция системы воздухораспределения с заменой схемы организации воздухообмена на более эффективную.

Замена схемы воздухораспределения должна производиться в зависимости от характера конкретных производств, особенностей объекта и вида нарушений нормативных требований и быть согласована с авторами проекта.

В процессе проведения наладочных работ и реконструкции систем воздухораспределения следует сочетать повышение санитарно-гигиенического эффекта работы систем вентиляции и кондиционирования с повышением их экономичности. В частности, где это можно, уменьшать расход приточного воздуха и увеличивать рабочую разность температур.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава I. Основные принципы вентиляции помещений 4
I.1. Физические свойства воздуха 4
I.2. Нормирование параметров воздушной среды 7
I.3. Источники вредных выделений в помещениях промышленных и гражданских зданий 10
I.4. Определение количества вредных выделений 14
I.5. Способы организации воздухообмена 22
I.6. Общеобменная вентиляция и ее расчет 26
I.7. Местная вентиляция 28

Глава II. Движение воздуха в помещении 32
II.1. Струйные течения 32
II.2. Свободные изотермические и неизотермические струи 34
II.3. Конвективная струя 38
II.4. Распространение струй в ограниченном пространстве 40
II.5. Взаимодействие приточных струй 42
II.6. Течение воздуха вблизи всасывающего отверстия 46
II.7. Взаимодействие всасывающего факела и приточной струи . . . 47

Глава III. Приточные устройства 51
III.1. Унификация воздухораспределительных устройств 51
III.2. Воздухораспределители для сосредоточенной подачи воздуха . . . 52
III.3. Воздухораспределители для подачи воздуха наклонными струями в направлении рабочей зоны 57
III.4. Воздухораспределители для подачи воздуха веерными, коническими и компактными струями сверху — вниз 62
III.5. Воздухораспределители для подачи воздуха непосредственно в рабочую зону 64
III.6. Воздухораспределители для воздушного душирования 65
III.7. Вентиляционные решетки 66

Глава IV. Вытяжные устройства 66
IV.1. Общие требования к размещению вытяжных устройств 67
IV.2. Классификация и характеристика местных отсосов 69
IV.3. Местная вентиляция при выделении теплоты и газов 78
IV.4. Отсосы, применяемые для удаления вредных паров и аэрозолей . . . 82
IV.5. Локальная вентиляция на участках пылевыделений 88
IV.6. Использование утилизаторов теплоты в вытяжных устройствах . . . 96

Глава V. Проектирование вытяжных и приточных устройств 96
V.1. Вентиляция помещений большого объема 99
V.2. Вентиляция помещений со значительными теплоизбытками 104
V.3. Вентиляция предприятий строительной индустрии 108
V.4. Вентиляция предприятий пищевой промышленности 112
V.5. Вентиляция зрительных и спортивных залов 117
V.6. Вентиляция помещений с повышенными требованиями к чистоте воздуха . 120

Глава VI. Наладка вытяжных и приточных устройств 120
VI.1. Приборы для испытания и наладки систем вентиляции и кондиционирования воздуха 158
VI.2. Испытание и наладка местных отсосов 161
VI.3. Регулирование воздухораспределительных устройств 161