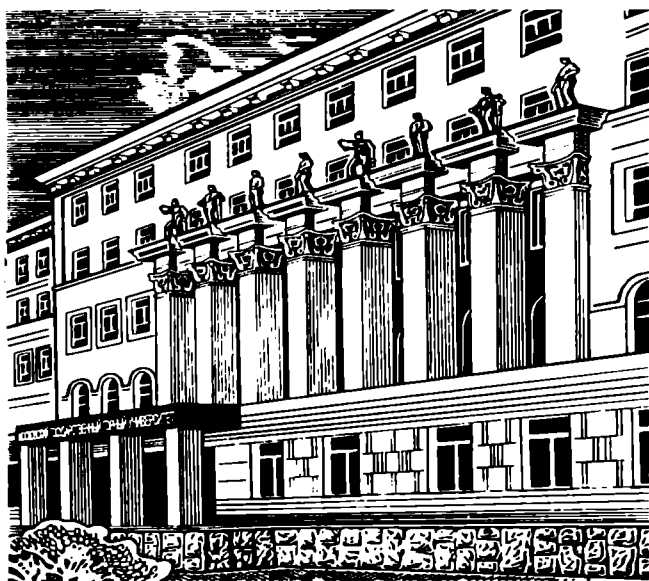


*90-летию
МГА-МГИ-МГГУ
посвящается*



**РЕДАКЦИОННЫЙ
С О В Е Т**

Председатель
Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя
Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета
И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

А.В. КОРЧАК

М.В. КУРЛЕНЯ

В.И. ОСИПОВ

В.Л. ПЕТРОВ

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.А. ЧАНТУРИЯ

Е.И. ШЕМЯКИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

*президент МГГУ,
чл.-корр. РАН*

*директор
Издательства МГГУ*

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

академик МАН ВШ

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

академик РАН

Н.О. Каледина

ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Издание 4-е, стереотипное

*Рекомендовано Министерством образования
и науки Российской Федерации в качестве
учебного пособия для студентов высших
учебных заведений, обучающихся
по направлению подготовки бакалавров
«Горное дело»*

**Горное
образование**



МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА
2008

УДК 658.3:622.7

ББК 33.18

К 17

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей № 77.99.60.953.Д.008501.07.07

Каледина Н.О.

К 17 Вентиляция производственных объектов: Учеб. пособие. — 4-е изд., стер. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2008. — 193 с.: ил.
ISBN 978-5-7418-0551-0 (в пер.)

Показана роль вентиляции в обеспечении безопасности жизнедеятельности. Приведены классификация систем вентиляции и методы контроля состояния воздушной среды. Рассмотрены теоретические основы вентиляции. Описаны инженерные средства обеспечения требуемых параметров воздуха. Изложены особенности вентиляции объектов горного производства — шахт, рудников и карьеров.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Горное дело».

УДК 658.3:622.7

ББК 33.18

ISBN 978-5-7418-0551-0

© Н.О. Каледина, 2007, 2008

© Издательство МГГУ, 2007, 2008

© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2007, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
1. РОЛЬ ВЕНТИЛЯЦИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ . 9	
1.1. Воздух рабочей зоны	9
1.2. Нормирование параметров воздуха рабочей зоны	14
1.3. Задачи и функции вентиляции	22
1.4. Требования к вентиляции производственных помещений	25
2. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ	29
2.1. Понятие вентиляционной системы	29
2.2. Классификация систем вентиляции	31
2.3. Системы естественной вентиляции	34
2.4. Системы искусственной вентиляции	41
2.5. Методы контроля состояния воздушной среды	67
3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ	74
3.1. Классификация воздушных струй	74
3.2. Основное уравнение вентиляции.....	77
3.3. Аэродинамический расчет вентиляционных сетей	79
3.4. Характеристика вентиляционной сети	86
3.5. Характеристика вентилятора.	87
3.6. Методы расчета требуемых расходов.	89
3.7. Определение расчетного количества вредностей, поступающих в помещение	95

4. ИНЖЕНЕРНЫЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА	101
4.1. Проветривание помещений	101
4.2. Отопление и кондиционирование воздуха .	107
4.3. Очистка воздуха в вентиляционных системах	122
5. ОСНОВЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	138
5.1. Особенности вентиляции объектов горного производства	138
5.2. Понятие способа и схемы вентиляции	150
5.3. Схемы вентиляции шахт	154
5.4. Схемы вентиляции выемочных участков	159
5.5. Способы и схемы проветривания тупиковых выработок	166
5.6. Средства проветривания	172
5.7. Естественная вентиляция карьеров	176
5.8. Искусственная вентиляция карьеров	182
ЛИТЕРАТУРА	192

ВВЕДЕНИЕ

Вентиляция относится к средствам нормализации воздуха рабочей зоны: его чистоты, подвижности, комфортного температурно-влажностного режима. Для современных производств, характеризующихся значительными выделениями вредных веществ, необходимо также обеспечивать очистку воздуха, выбрасываемого в земную атмосферу. Возможности вентиляции в решении этих задач не беспредельны. Поэтому в целях обеспечения гигиенических условий микроклимата, сокращения расходов на вентиляционные сооружения, устранения излишних затрат энергии и топлива, а также решения экологических задач необходимо при разработке и организации технологических процессов исключать из них операции и работы, сопровождающиеся поступлением в производственное помещение теплого и холодного воздуха, выделением в воздух рабочих помещений влаги, вредных паров, газов, аэрозолей и др. При выборе технологических процессов следует отдавать предпочтение таким, которые характеризуются наименьшим количеством вредных производственных факторов. При конструировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации технологического оборудования должны предусматриваться соответствующие меры по предупреждению или снижению до минимума вредных выделений в воздух рабочих помещений. При этом важное значение имеют местные отсосы, встроенные в оборудование, позволяющие устранять вредности в местах их возникновения. Если невозможно полное устранение вредных выделений, следует максимально ограничить их распространение в рабочих зонах помещений до величин, не превышающих предельно допустимых.

В связи с вышесказанным наиболее целесообразной является совместная работа технологов и специалистов по вентиляции в направлении оптимального решения задач нормализации воздуха рабочей зоны. Этим обусловлена необходимость изучения основ вентиляции для студентов всех технических специальностей.

Учебное пособие предназначено для изучения курса “Безопасность жизнедеятельности” (в дополнение к соответствующему учебнику), а также может быть использовано при разработке дипломных проектов бакалавров и инженеров.

1. РОЛЬ ВЕНТИЛЯЦИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1.1. Воздух рабочей зоны

Для обеспечения высокой производительности и работоспособности человека в процессе труда в производственных помещениях необходимо создавать такие условия, которые соответствовали бы физиологическим потребностям его организма и способствовали бы сохранению его структурной и функциональной целостности на протяжении длительного времени. Воздушная среда при этом имеет первостепенное значение, так как наличие воздуха является необходимым условием жизни человека.

Атмосферный воздух (у поверхности Земли) представляет собой многокомпонентную смесь, которая содержит (в объемных процентах): азота – 78,08, кислорода – 20,95, озона и других инертных газов (аргона, гелия, неона, криптона, ксенона, радона) – 0,94, углекислого газа – 0,03, прочих газов – 0,01. Воздух такого состава наиболее благоприятен для человека. Водяной пар составляет в среднем от 0,2 до 2,6 %. Содержание углекислого газа при расчетах принимается равным: в сельской местности – 0,03, в городах – 0,04-0,07. Озон в ощутимых количествах присутствует в лесном, горном и морском воздухе.

Однако воздух рабочей зоны редко имеет такой химический состав, так как большинство технологических процессов сопровождается выделением вредных веществ – паров, газов, твердых и жидких частиц, загрязняющих воздушную среду производственных помещений. В соответствии с принятой терминологией под

воздухом рабочей зоны понимают параметры воздушной среды на рабочем месте, то есть в пространстве высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

Важнейшей жизнеобеспечивающей функцией организма человека является дыхание, для которого требуется вполне определенный **химический состав воздуха**. Изменение состава воздуха по определенным компонентам даже в незначительных пределах может приводить к снижению работоспособности, к заболеваниям или гибели организма. Так, для дыхания человека требуется содержание кислорода в пределах 19–21 % (по объему). Снижение содержания кислорода сказывается в первую очередь на работе сердечно-сосудистой и центральной нервной системы, приводит к повышенной утомляемости, снижению работоспособности, ослаблению функции внимания, повышению числа допускаемых ошибок.

Технологические процессы зачастую сопровождаются выделением в атмосферу производственного помещения значительных объемов газообразных (газы, пары) и твердых (пыль) примесей. Эти примеси могут быть ядовитыми и приводить к отравлениям, или нейтральными химически, но снижающими объемное содержание кислорода в воздухе рабочей зоны. Таким образом, воздушная среда на производстве практически всегда является потенциально опасной для человека, поскольку химический состав ее отличается от атмосферного воздуха.

Поэтому к составу воздуха рабочей зоны предъявляются достаточно жесткие требования, обязательные для выполнения.

На работоспособность и состояние здоровья человека существенно влияют также параметры производ-

ственного микроклимата, то есть *метеорологические условия на рабочем месте.*

Метеорологические условия определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения и давления воздуха, а также температурой окружающих поверхностей. Все эти параметры могут изменяться в широких пределах. Однако, несмотря на колебания параметров микроклимата, температура тела остается, как правило, постоянной. Комплекс сложных физиологических процессов, поддерживающих постоянную температуру тела человека при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы, называют *терморегуляцией.*

Температура тела здорового человека составляет 35-37 °С независимо от температуры окружающей среды. Именно этот диапазон температур обеспечивает нормальное протекание биохимических реакций организма. Но при выполнении трудовых операций повышается выделение тепла, которое необходимо отводить, чтобы не допустить перегревания тела, т.к. это может нарушить функционирование органов и систем организма.

В производственной или бытовой обстановке система терморегуляции организма человека стремится поддерживать температуру тела на уровне 36,5 °С. Эта температура является результирующей двух процессов: внутреннего производства тепла в теле в результате реакций обмена и внешнего теплообмена. Отдача теплоты организмом человека во внешнюю среду происходит тремя основными путями: конвекцией, излучением и испарением.

В условиях высокой температуры окружающего воздуха кровеносные сосуды кожи расширяются. При

этом происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и теплоотдача в окружающую среду значительно увеличивается. Однако при температурах окружающего воздуха и поверхностей оборудования в помещении 30-35 °С отдача теплоты конвекцией и излучением значительно снижается.

При более высокой температуре теплота отдается полностью путем испарения с поверхности кожи. Интенсивное потоотделение ведет к потере определенного количества влаги, а вместе с ней и соли, которые играют важную роль в жизнедеятельности организма. Поэтому в горячих цехах питьевую воду слегка подсаливают.

На понижение температуры окружающего воздуха организм человека реагирует иначе: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется и отдача теплоты конвекцией и излучением уменьшается.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 85\%$) также затрудняет терморегуляцию вследствие уменьшения испарения пота, а слишком низкая влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей. Оптимальные уровни относительной влажности находятся в пределах 40-60 %.

Движение воздуха в помещениях является важным фактором, влияющим на тепловое самочувствие человека. Увеличивая отдачу теплоты, движение воздуха в жарком помещении улучшает состояние организма, но оказывает на него неблагоприятное воздействие при низкой температуре воздуха в холодный период года.

Минимальная скорость движения воздуха, ощущаемая человеком, составляет 0,1 м/с. В зимнее время скорость движения воздуха в помещениях не должна превышать 0,2-0,5 м/с, а в летнее 0,2-1,0 м/с. В горячих

цах допускается увеличение скорости обдува рабочих (воздушное душирование) до 3,5 м/с.

В подземных выработках ограничивается максимальная скорость движения воздуха в зависимости от функционального назначения выработки и времени постоянного пребывания в ней людей. С учетом наличия взрывоопасных примесей в воздухе и ограниченности пространства допустимые скорости воздуха здесь значительно выше: 4-8 м/с.

Для открытых рабочих мест, то есть расположенных под открытым небом (в том числе для открытых горных работ), параметры микроклимата не нормируются, т.к. практически не подлежат управлению.

Атмосферное давление воздуха также оказывает влияние на процесс дыхания человека. Жизнедеятельность человека может происходить в довольно широком диапазоне давлений: 734–1267 гПа (550–950 мм рт. ст.). Однако необходимо учитывать, что для здоровья человека опасно быстрое изменение давления, а не сам его уровень.

Таким образом, самочувствие человека в помещении определяется следующими параметрами: температурой воздуха, °С; интенсивностью облучения, Вт/м²; скоростью движения воздуха, м/с; относительной влажностью, %; загрязненностью воздуха вредными примесями, мг/м³. Влияние этих параметров на самочувствие человека различно. Каждый из перечисленных параметров влияет на теплоотдачу тела человека в окружающую среду.

Перечисленные вредные выделения в атмосферу производственных объектов называют *загрязнениями воздушной среды*.

1.2. Нормирование параметров воздуха рабочей зоны

При нормировании параметров воздушной среды в помещениях различают определенный диапазон сочетаний параметров, называемый допустимыми параметрами. Диапазон допустимых температур определяется нижним допустимым температурным уровнем, служащим для расчета систем отопления, и верхним, обеспечиваемым средствами вентиляции.

Скорость движения, относительная влажность и загрязненность воздуха вредными примесями обычно определяются только верхним допустимым уровнем. Однако в некоторых случаях указывается и нижний допустимый уровень подвижности воздуха – обязательная минимальная скорость движения воздуха в рабочей зоне или на рабочем месте.

Общие санитарно-гигиенические требования к температуре, влажности, скорости движения воздуха и содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений определены ГОСТ 12.1.005–88 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования». Согласно этому стандарту устанавливаются предельно допустимые концентрации вредных примесей, оптимальные и допустимые микроклиматические условия рабочей зоны помещения.

Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом человека могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Выделяющиеся в ходе технологических процессов вредные газы и пары образуют с воздухом *газо- и паровоздушные смеси*, а твердые и жидкие частицы веществ – *дисперсные системы (аэрозоли)*, которые делятся на пыль (размер твердых частиц более 1 мкм), дым (менее 1 мкм) и туман (размер жидких частиц менее 10 мкм).

Нормирование вредных химических веществ. Степень поражения человека вредными химическими веществами и производственной пылью в решающей мере зависит от концентрации их в воздухе рабочей зоны и продолжительности воздействия. Попадающие в организм химические вещества и пыль приводят к нарушению здоровья лишь в том случае, если их количество в воздухе превышает определенную для каждого вещества величину. Поэтому для профилактики профессиональных заболеваний установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны – это такие концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности (но не более 41 часа в неделю) в период всего трудового стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

В ГОСТ 12.1.005–88 даны ПДК почти для 800 вредных веществ. ПДК некоторых вредных веществ с указанием класса их опасности и агрегатного состояния в условиях помещения приведены в табл. 1.1.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны при работе на рабочих местах 1 час и менее или периодически (менее 30 % времени рабочей смены) следует

принимать с коэффициентом $k=2$ по отношению к установленным ГОСТом.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ одностороннего действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них (C_1, C_2, \dots, C_n) в воздухе помещений и их ПДК (ПДК₁, ПДК₂, ..., ПДК_n) не должна превышать единицы:

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n \leq 1. \quad (1.1)$$

ПДК устанавливается с учетом характера и степени воздействия вредного химического вещества на организм человека, обусловленных его физико-химическими свойствами.

По характеру воздействия различают промышленные вещества *общетоксического*, (бензол, толуол, ксилол, нитробензол, анилин, свинец, ртуть, мышьяк и др.), *раздражающего* (кислоты, щелочь, а также хлор-, фтор-, серо- и азотосодержащие соединения), *сенсibiliзирующего* (платина, альдегиды, различные растворители, лаки на основе нитросоединений и др.), *канцерогенного* (полициклические ароматические углеводороды – ПАУ, которые могут входить в состав сырой нефти, но в основном образуются при термической переработке горючих ископаемых (каменного угля, древесины, нефти, сланцев) или неполном их сгорании: мазут, гудрон, битум, никель, окислы хрома, асбест и др.), *мутагенного* (иприт, формальдегид, свинец, марганец, радиоактивные вещества и др.) действия, а также вещества, *влияющие на репродуктивную функцию* (бензол и его производные, сероуглерод, свинец, никотин, соединения ртути, радиоактивные вещества и др.)

Таблица 1.1

**Предельно допустимые концентрации вредных
веществ в воздухе рабочей зоны производственных поме-
щений (по ГОСТ 12.1.005–88)**

Вещества	ПДК, мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Азота окислы (в пересчете на NO ₂)	5	3	п
Аммиак	200	4	п
Ангидрид сернистый	10	3	п
Ацетон	10	3	п
Бензин-растворитель (в пересчете на С)	100	4	п
3, 4-бензпирен	0,00015	1	а
Диэтилбензол	10	3	п
Изобутилен	100	4	п
Изопрен	40	4	п
Кислота серная	1	2	а
Метилацетат	100	4	п
Никель (соли никеля в виде гидроаэрозоля, в пересчете на Ni)	0,005	1	а
Озон	0,1	1	п
Толуол	50	3	п
Углерода оксид	20	4	п
Хлор	1	2	п
Хлора диоксид	0,1	1	п

Примечание: п – паробразное состояние, а – аэрозольное.

По степени воздействия на организм человека все вредные вещества подразделяются на четыре класса (ГОСТ 12.1.007–88): 1-й – *чрезвычайно опасные* вещества (ртуть, свинец, озон, фосген и др.); 2-й – *высокоопасные* (оксиды азота, бензол, йод, марганец, медь, хлор и др.); 3-й – *умеренно опасные* (ацетон, ксилол, метиловый спирт и др.); 4-й – *малоопасные* (аммиак, бензин, скипидар, этиловый спирт и др.).

Следует иметь в виду, что малоопасные вещества при длительном воздействии в больших концентрациях вызывают тяжелые отравления.

Производственная пыль является очень распространенным вредным фактором. Она может оказывать на организм человека *фиброгенное, раздражающее* (стекловолокно, слюда, кремнезем и др.) и *токсическое* действие (свинец, хром и др.). Поражающее действие производственной пыли в значительной степени определяется ее дисперсностью (размером частиц). Наибольшей фиброгенной активностью обладают аэрозоли с частицами размером до 5 мкм и особенно размером 1–2 мкм, которые наиболее глубоко проникают в легкие и задерживаются там.

Нормирование микроклимата.

К параметрам, характеризующим микроклимат, относятся температура и подвижность воздуха, влажность воздуха и барометрическое давление.

Под *оптимальными микроклиматическими условиями* понимают такие сочетания метеорологических параметров, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения механизма терморегуляции. Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для хорошей работоспособности.

Допустимыми микроклиматическими условиями называют такие сочетания метеорологических параметров, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызывать преходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма, а также напряжение работы механизма терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных воз-

можностей. При этом не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности.

Наиболее благоприятное сочетание параметров внутреннего воздуха в помещении (оптимальные условия) обычно создается системами кондиционирования воздуха. Однако в некоторых случаях, применяя рациональное регулирование систем вентиляции помещений, можно получить оптимальные условия.

Параметры воздуха, соответствующие оптимальным и допустимым условиям, зависят от периода года (теплый, холодный), от тепловой характеристики помещения и от тяжести выполняемой в нем работы.

По *тепловой характеристике* все производственные помещения делятся на помещения с незначительными избытками явного тепла – не более 23 Дж/(м³·с) и значительными избытками явного тепла, превышающими 23 Дж/(м³·с). Помещения, цехи и участки со значительными избытками явного тепла относят к категории «горячих цехов». Явное тепло – это тепло, поступающее в рабочее помещение от оборудования, отопительных приборов, нагретых материалов, людей и других источников, которое воздействует на температуру воздуха в этом помещении.

По *тяжести труда* (физического) различают следующие категории работ: легкую (категория I-а, I-б), средней тяжести (категория II-а, II-б), тяжелую (категория III).

К категории I-а относят легкие физические работы, не связанные с ходьбой, при которых энергозатраты не превышают 139 Вт. К категории I-б - работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, но не требующие систематического физического напряжения или поднятия и переноса тяжестей, при которых энергозатраты человека составляют 140-174 Вт. К категории II-

а относят работы, связанные с постоянной ходьбой, а также выполняемые стоя или сидя, но требующие перемещения тяжестей, соответствующие энергозатратам 174-232 Вт (150-200 ккал/ч). К категории II-б относят работы, связанные с ходьбой и переносом небольших (до 10 кг) тяжестей, при которых энергозатраты составляют 233-290 Вт (200–250 ккал/ч). К категории III относят работы, связанные с систематическим напряжением или постоянным передвижением и переносом значительных (свыше 10 кг) тяжестей, соответствующие энергозатраты – более 290 Вт (250 ккал/ч).

По *времени года* различают холодный и переходный период со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже +10 °С и теплый период с температурой +10 °С и выше.

С учетом перечисленных выше факторов и определяются требуемые параметры физического состояния воздуха рабочей зоны.

Оптимальные нормы сочетания параметров воздуха в рабочей зоне производственных помещений принимаются по табл. 1.2.

Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений имеют более широкий диапазон нормируемых параметров и устанавливаются в отдельных случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

При расчетах воздухообмена их следует принимать в зависимости от конкретных условий согласно действующим нормативам (ГОСТ 12.1.005-88, СанПиН-2.2.4.548-96).

Допустимый диапазон температур в холодный период года для работ I категории тяжести составляет 19-25°С, для работ II категории - 15-23°С, для III катего-

рии - 13-21°C. В теплый период года эти диапазоны соответственно 20-28°C для легкой работы, 16-27°C - для работы средней тяжести и 15-26°C - для тяжелой работы. Диапазон допустимых скоростей движения воздуха отличается от оптимальных на 0,1-0,3 м/с как в сторону уменьшения, так и увеличения, в зависимости от категории тяжести труда и установленной температуры воздуха. Допустимые значения относительной влажности лежат в пределах 15-75 %. При этом, если температура воздуха превышает 25°C, то при увеличении ее на 1 градус, допустимая влажность уменьшается на 5%; допустимая скорость движения воздуха в этих условиях увеличивается в среднем на 0,2 м/с по сравнению с нормативным значением.

Таблица 1.2

Оптимальные нормы температуры t относительной влажности ϕ и скорости движения воздуха v в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ	t , °C	ϕ , %	v , м/с
Теплый	I-a	23-25	60-40	0,1
	I-б	22-24	60-40	0,1
	II-a	20-22	60-40	0,2
	II-б	19-21	60-40	0,2
	III	18-20	60-40	0,3
Холодный и переходный	I-a	22-24	60-40	0,1
	I-б	21-23	60-40	0,1
	II-a	19-21	60-40	0,2
	II-б	17-19	60-40	0,2
	III	16-18	60-40	0,3

Так, для легкой работы, выполняемой в помещениях с незначительными избытками явного тепла в холодный период года, оптимальные параметры следую-

щие: температура 21–24 °С, относительная влажность 60–40 %, скорость движения воздуха не более 0,1 м/с. Для тяжелой работы в этих же помещениях в холодный период года оптимальными будут температура 16–18 °С, относительная влажность 60–40 %, скорость движения воздуха 0,3 м/с.

Допустимыми параметрами для легкой работы, выполняемой в помещениях с незначительными избытками явного тепла в холодный период, являются температура 19–25 °С, относительная влажность не более 75 %, скорость движения воздуха не более 0,2 м/с. На рабочих местах с избытками тепла в теплый период года допускаются следующие значения параметров микроклимата: температура 28 °С, относительная влажность 75 %, скорость движения воздуха 1 м/с.

1.3. Задачи и функции вентиляции

Средства защиты работающих от вредного воздействия загрязнений воздушной среды по характеру применения подразделяют на средства коллективной и средства индивидуальной защиты.

К средствам коллективной защиты относят:

- средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест: вентиляцию с очисткой воздуха, локализацию вредностей в местах их возникновения, отопление, автоматический контроль и сигнализацию;
- средства защиты от инфракрасных излучений: оградительные, герметизирующие и теплоизолирующие устройства, вентиляцию помещений, дистанционное управление и знаки безопасности, автоматический контроль и сигнализацию;

- средства защиты от высоких и низких температур окружающей среды: оградительные устройства, термоизоляцию, дистанционное управление, устройства для радиационного или воздушного обогрева и охлаждения, автоматический контроль и сигнализацию.

Из этого перечня ясно, что различные устройства вентиляционных систем являются обязательными элементами коллективной защиты работающих от загрязнений воздушной среды.

Основное предназначение вентиляции производственных помещений – обеспечение требуемых санитарно-гигиенических параметров воздушной среды для пребывания в помещении человека, то есть поддержание необходимой чистоты воздуха и таких климатических условий, при которых человек чувствует себя нормально и микроклимат не оказывает неблагоприятного воздействия на его здоровье.

Для этого вентиляционные устройства должны удалять избыточную теплоту, влагу, вредные газы, пары и пыль, в огромных количествах выделяющиеся в ходе технологических процессов большинства современных производств. При этом необходимо соблюдение определенной степени подвижности воздуха в помещениях, обеспечивающей необходимый приток кислорода и комфортную для человека скорость движения воздуха на рабочих местах. В средней полосе и высоких широтах в большинстве помещений требуется подогрев воздуха в холодный период года; в теплый период года и в низких широтах, а также в помещениях с высокотемпературными технологическими процессами требуется охлаждение воздуха. В этих случаях вентиляция применяется в комплексе с *системами отопления и кондиционирования воздуха*.

Простое перемещение удаляющихся вредных примесей из производственных помещений наружу при современных масштабах промышленных выбросов приводит к повышению в земной атмосфере содержания ядовитых газов, снижению содержания кислорода, к "парниковому" эффекту, разрушению озонового слоя, загрязнению почвы при конденсации вредных паров и т.д. В конечном счете это приводит к ухудшению качества среды обитания и даже к ее разрушению. Следовательно, в функции вентиляции должна входить также *очистка воздуха*, удаляемого из производственных помещений, от вредностей, загрязняющих атмосферу.

С целью сокращения расходов на вентиляционное оборудование и сооружения, устранения излишних затрат энергии и топлива, а также решения экологических задач (защита атмосферы и почвы от загрязнений промышленными выбросами) необходимо уже на стадии разработки и организации производственных процессов исключать по возможности операции, сопровождающиеся поступлением в производственное помещение теплого или холодного воздуха, выделение в воздух рабочей зоны влаги, вредных паров, аэрозолей и др.

При выборе технологических процессов следует отдавать предпочтение тем, которые характеризуются наименьшим количеством вредных производственных факторов.

При конструировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудования должны предусматриваться соответствующие меры по предупреждению или снижению до минимума вредных выделений в воздух производственных помещений. При этом важное значение имеет конструктивное совмещение защитных средств — встроенные в оборудование местные отсосы, позволяющие устранять вредности в местах их выделения.

Поэтому очень важной является совместная работа технологов и специалистов по вентиляции в направлении оптимального решения задачи нормализации воздуха рабочей зоны. Если невозможно полное устранение вредных выделений, следует по возможности ограничить их распространение в рабочих зонах помещений до величин, не превышающих предельно допустимых.

Укрупненно задачи и функции вентиляции приведены на рис. 1.1. В современных условиях систему вентиляции нельзя рассматривать только как совокупность средств для перемещения воздуха. Это – сложный комплекс мероприятий и технических средств по обеспечению благоприятных параметров воздушной среды в производственных помещениях и защите воздуха рабочей зоны и земной атмосферы от технологических загрязнений.

1.4. Требования к вентиляции производственных помещений

Из содержания основных задач и функций вентиляции вытекают и требования, предъявляемые к вентиляционным устройствам. Все эти требования должны учитываться на стадии проектирования вентиляционных систем.

Выбранная система вентиляции должна обеспечивать нормируемые параметры микроклимата и чистоту воздуха в рабочей зоне.

Основное требование – высокие эксплуатационные характеристики, то есть эффективность выполнения основных функций, а также надежность функционирования, наладки и регулирования системы, удобство ее обслуживания и ремонта.

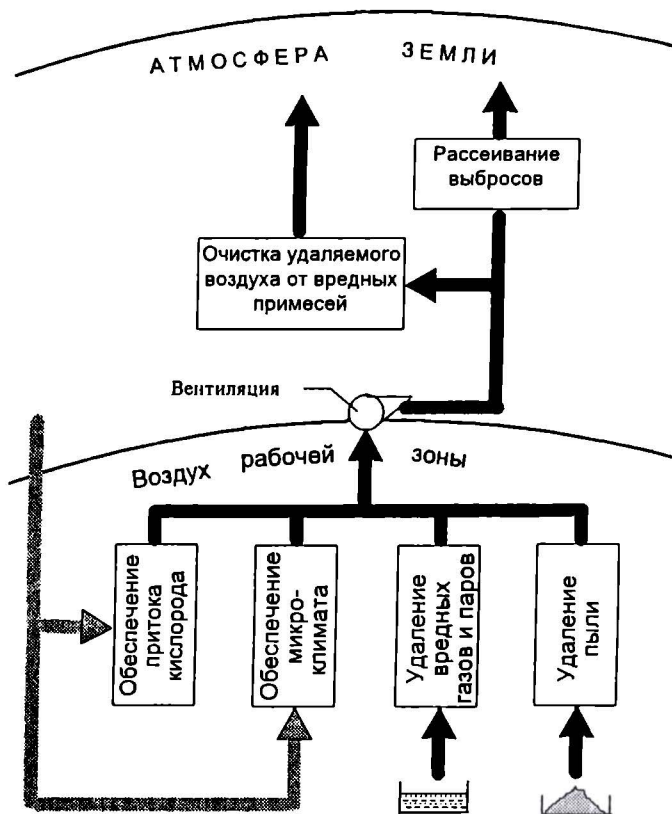


Рис. 1.1. Функции вентиляционных систем

Поскольку любое технологическое основное или вспомогательное оборудование само по себе является источником производственных вредностей и опасностей, то к системам вентиляции также предъявляются общие требования охраны труда, основной принцип которых можно сформулировать следующим образом: любые

средства безопасности жизнедеятельности в производственных помещениях не должны ухудшать условий на рабочих местах.

Важнейшим требованием к вентиляционным системам является то, что они не должны мешать нормальному протеканию производственного процесса. Например, вентиляционные каналы или другие вентиляционные сооружения не должны создавать препятствий на пути перемещения самоходного оборудования. Расположение элементов системы вентиляции не должно затруднять монтаж, эксплуатацию и ремонт технологического оборудования, а также загромождать рабочие места и проходы, снижать освещенность.

Работа вентиляционного оборудования, как правило, сопровождается шумом и вибрациями значительной интенсивности. Поэтому к системам вентиляции предъявляются требования звуко- и виброизоляции их от строительных конструкций, а также требования шумо- и виброзащиты рабочих мест и селитебных территорий.

Система вентиляции должна также иметь устройства, обеспечивающие электробезопасность и немедленное отключение.

При разработке систем вентиляции для производственных помещений, в которых в технологических процессах используются или выделяются в значительном количестве горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости, способные образовать в смеси с воздухом взрывоопасные концентрации, а также для производств, связанных с выделением лучистого тепла, наличием искр и пламени и т.д., – необходимо, чтобы она не увеличивала взрывной и пожарной опасности и не способствовала распространению продуктов горения в другие помещения.

Кроме того, системы вентиляции должны быть достаточно компактными, то есть площадь для размещения соответствующего оборудования и устройств должна быть минимальной, а также по возможности конструкции вентиляционных сооружений должны сочетаться с архитектурными решениями и отвечать требованиям производственной эстетики.

И, наконец, немаловажным требованием является экономичность вентиляционных систем, то есть максимально возможная экономия энергозатрат при обеспечении высоких технических показателей.

2. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

2.1. Понятие вентиляционной системы

Под *системой вентиляции* производственных помещений понимают систему технических средств, предназначенных для обеспечения на постоянных рабочих местах, в рабочей и обслуживаемой зонах помещений тепловоздушного режима, соответствующего гигиеническим и техническим требованиям.

К *средствам проветривания* относятся: побудитель тяги, сеть воздухопроводов – каналов, служащих для подачи свежего воздуха к местам его потребления, – и регуляторы распределения воздуха в сети.

Побудителем тяги с физической точки зрения является разность давлений, которая может создаваться как естественными факторами, так и с помощью специальных механических устройств – вентиляторов, эжекторов. Соответственно этому различают естественные и искусственные источники тяги. Для большинства производств, характеризующихся значительными выделениями вредных веществ, где требуется обеспечение устойчивого выноса загрязнений из рабочей зоны, необходимо использование механических (искусственных) источников тяги.

Указанное оборудование обеспечивает лишь перемещение определенной массы воздуха с заданной скоростью. Для поддержания в помещениях в течение холодного периода года температуры не ниже нижнего предела допустимой температуры воздуха используются *системы отопления*. Для автоматического поддержания в помещениях заданных условий (кондиций) воздушной среды служат *системы кондиционирования воздуха*. В жи-

лых, общественных, служебных и производственных помещениях, где длительное время находятся люди, применяют системы комфортного кондиционирования. Имеются также системы технологического кондиционирования, задачей которых является создание воздушной среды, обеспечивающей выполнение определенных технологических процессов, сохранение продуктов и т.п.

Действие систем кондиционирования заключается в подаче в помещения определенного количества воздуха необходимых параметров. Воздух обрабатывается (полностью или частично) в специальном агрегате – кондиционере. При работе системы в режиме охлаждения воздух в количестве, необходимом для поглощения тепло- и влаговыделений в кондиционируемых помещениях, охлаждается и осушается в теплообменных аппаратах кондиционера и подается вентилятором в помещение по воздуховодам через воздухораспределители. При работе в режиме отопления воздух в количестве, требуемом для компенсации теплотерь в кондиционируемых помещениях, нагревается и увлажняется. Поддерживают температуру обрабатываемого воздуха и регулируют его параметры в помещениях приборы автоматики.

Таким образом, основными элементами системы вентиляции производственных помещений являются воздухозаборные или воздуховыбросные устройства, камера для приготовления воздуха, воздуховоды, вентилятор с электродвигателем и воздухораспределителем.

Воздухозаборные и воздуховыбросные устройства устанавливаются снаружи здания. Они имеют отверстия с решетками в виде жалюзи. Камера для приготовления воздуха может включать в себя устройства для нагревания (калориферы) и охлаждения (воздухоохладители) воздуха, его увлажнения, осушения, очистки.

Вентиляторы обеспечивают движение воздуха в воздуховодах, которые, как правило, изготавливаются из листовой стали.

2.2. Классификация систем вентиляции

Системы вентиляции подразделяют по следующим признакам: по способу перемещения воздуха, направлению его потока, зоне действия и времени работы. На рис. 2.1 показана схема классификации систем вентиляции по основным эксплуатационным характеристикам.

В зависимости от *способа перемещения* воздуха, то есть от природы источника тяги, – различают *естественную и механическую* (искусственную) вентиляцию. При естественной вентиляции движение воздуха происходит вследствие разности температур и, следовательно, плотностей наружного и внутреннего воздуха, а также под воздействием давления или разрежения, создаваемого ветром. При механической вентиляции перемещение воздуха осуществляется с помощью вентиляторов.

Естественная вентиляция производственных помещений может быть неорганизованной и организованной (азрация). При *неорганизованной* вентиляции воздух поступает в помещение и удаляется из него через неплотности в наружных ограждениях (инфильтрация), а также через окна, форточки и другие проемы, работающие и на приток, и на вытяжку (проветривание). *Организованная* (поддающаяся регулированию) вентиляция осуществляется при наличии в помещении световых фонарей с открывающимися створками, через которые происходит вытяжка воздуха, и окон в боковых стенах, работающих на приток. Изменяя степень открытия створок в окнах и фонарях, регулируют объем подачи и

створок в окнах и фонарях, регулируют объем подачи и удаления воздуха. Устройство аэрации особенно целесообразно в больших производственных помещениях и горячих цехах.

Механическая вентиляция в зависимости *от направления потока* воздуха бывает приточной и вытяжной. *Приточная* вентиляция предназначена для подачи чистого воздуха на рабочие места и участки, *вытяжная* – для удаления загрязненного воздуха из помещения.

По *зоне действия* механическую вентиляцию подразделяют на общеобменную, местную и смешанную (комбинированную).

При *общеобменной* вентиляции происходит обмен воздуха во всем помещении. Ее применяют в случаях, когда выделения вредных веществ незначительны и равномерно распределены по всему объему помещения.

Местная вытяжная вентиляция предназначена для локализации и удаления вредностей непосредственно в местах их образования. Вытяжные устройства при этом могут быть закрытого и открытого типов. В местных отсосах закрытого типа источник выделения вредностей расположен внутри укрытия – вытяжного шкафа, окрасочной камеры, кожуха, укрывающего пылящее оборудование, и т.п. Эти устройства наиболее полно улавливают вредности при минимальном объеме удаляемого воздуха. В местных отсосах открытого типа приемное отверстие находится на некотором расстоянии от источника выделения вредностей. К ним относят вытяжные зонты и панели, бортовые отсосы.

Местная приточная вентиляция обеспечивает заданные параметры воздушной среды в определенной части помещения, где человек находится наиболее продолжительное время (основная рабочая площадка). Раз-

новидностями этой вентиляции являются воздушные души, оазисы, завесы.

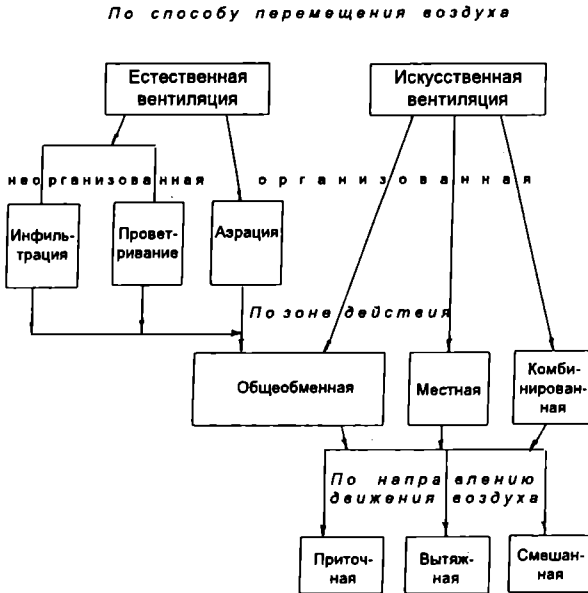


Рис. 2.1. Классификация систем вентиляции

Воздушный душ представляет собой струю воздуха, подогреваемую зимой и охлаждаемую при необходимости летом, которая направляется на человека. Воздушные оазисы устраивают в виде площадок, отделенных от основного помещения перегородками высотой около 2 м. Охлажденный воздух подается в отгоро-

предназначенные для перекрытия проемов. Их используют для того, чтобы предотвратить проникновение загрязненного или холодного воздуха из соседних помещений и в проемы между отапливаемыми и неотапливаемыми помещениями.

По *времени действия* различают вентиляцию рабочую (постоянно действующую) и аварийную. *Аварийная вентиляция* предназначена для быстрого удаления из помещений значительных объемов воздуха с большим содержанием вредных и взрывоопасных веществ, поступивших в помещение при нарушении технологического процесса или аварии. Она, как правило, проектируется вытяжной и должна обеспечивать не менее чем восьми-кратный воздухообмен.

Кратность воздухообмена, равная отношению часового объема проходящего через помещение воздуха к объему помещения, показывает, сколько раз в течение часа полностью заменяется воздух в помещении, то есть характеризует интенсивность вентиляции. Естественная вентиляция может обеспечивать 20-кратный воздухообмен, механическая – 10-кратный.

2.3. Системы естественной вентиляции

Выше уже приводилась классификация систем естественной вентиляции. В данном разделе рассматривается организованный воздухообмен, поскольку только эти системы представляют интерес с инженерной точки зрения.

Аэрацией называется естественный организованный воздухообмен в помещениях, происходящий через специальные открывающиеся проемы в наружных ограждениях промышленных зданий: в холодных цехах (не имеющих избыточных тепловыделений) – под дей-

ограждениях промышленных зданий: в холодных цехах (не имеющих избыточных тепловыделений) – под действием ветра; в горячих цехах (с избыточным тепловыделением) – под суммарным действием ветра и разности давлений наружного и внутреннего воздуха (азростатического давления). Схема, иллюстрирующая механизм возникновения тяги, приведена на рис.2.2.

Воздухообмен назван организованным потому, что он позволяет осуществлять заранее заданное направление движения и расход воздуха, а также регулировать эти параметры в соответствии с внутренними и внешними условиями. При этом большие объемы наружного воздуха распределяются и удаляются из помещений при незначительных давлениях (как правило, не более 9,8 Па), в то время как в случае механической вентиляции сравнительно небольшие объемы воздуха перемещаются при значительно больших давлениях (до 400–600 Па).

Аэрация может применяться одновременно с механической вентиляцией – главным образом, местной, – позволяющей удалять вредности непосредственно от источников их выделения, не допуская распространения их в объеме помещения.

Расчет аэрации состоит в определении необходимых площадей фрамуг, служащих для вентиляции. Если известны площади вентиляционных фрамуг, то расчет аэрации состоит в определении расходов воздуха, поступающего через фрамуги. В основу расчета аэрации положено определение давлений воздуха в вентилируемом помещении и снаружи.

Для вычисления площади вентиляционных фрамуг, делают следующие расчеты.

Температура рабочей зоны в теплый период года принимается:

$$t_{p,z} = t_n + \Delta t_{p,z} , \quad (2.1)$$

где t_n – расчетная температура наружного воздуха, $\Delta t_{p,z}$ – допустимая разность температур воздуха рабочей зоны и наружного воздуха (по нормам 3–5 °С).

В переходный (при $t_n=10$ °С) и холодный периоды (при $t_n<10$ °С) года температура в рабочей зоне принимается в зависимости от категории работы (легкая, средней тяжести и тяжелая), а также в зависимости от удельных избытков явной теплоты, выделяющейся в помещении, отнесенной к 1 м³ помещения (Вт/м³), и влаговыделений.

Температура приточного воздуха в теплый период года, если воздух поступает в цех только снаружи, принимается равной наружной (без кондиционирования воздуха) $t_{np} = t_n$; для переходного и холодного периода года

$$t_{np} = t_{p,z} + \Delta t, \quad (2.2)$$

где $t_{p,z}$ – разность температур воздуха рабочей зоны и приточного воздуха на входе в рабочую зону (для переходного периода принимается $\Delta t=5+8$ °С, для холодного $\Delta t=8$ °С).

Температура воздуха, уходящего из рабочей зоны, принимается равной температуре рабочей зоны, а температура воздуха, уходящего из верхней зоны помещения,

$$t_{yx} = t_{np} + (t_{p,z} - t_{np})/m, \quad (2.3)$$

где $t_{p,z}$ – температура воздуха в рабочей зоне, °С; t_{np} – температура воздуха, поступающего в рабочую зону; m – коэффициент зависящий от геометрических размеров помещения (см. табл.2.1), главным образом, отношения $\sum f_m/F_{пом}$, где $\sum f_m$ – площадь цеха, занимаемая источниками тепловыделений; $F_{пом}$ – общая площадь цеха (включая и площадь, занимаемую оборудованием).

Таблица 2.1

Значения коэффициента m

$\sum f_m/F_{пом}$	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
m	0,33	0,41	0,53	0,63	0,69	0,75	0,80

Значение коэффициента m можно определять также в зависимости от характера технологического процесса в промышленном здании (для литейных цехов $m=0,25$; кузнечных $m=0,3$; термических $m=0,45$) или по формулам:

для холодного периода года

$$m = (t_{p,z} - t_{np}) / (t_{yx} - t_{np}); \quad (2.4)$$

для теплого периода года

$$m = (t_{p,z} - t_n) / (t_{yx} - t_n). \quad (2.5)$$

Среднюю температуру воздуха цеха при расположении теплоисточников в рабочей зоне следует принимать равной температуре уходящего воздуха, при расположении теплоисточников по всей высоте зданий (электростанции, котельные и др.) – средней из температур воздуха рабочей зоны и уходящего воздуха

$$t_s = 0,5(t_{p,z} + t_{yx}). \quad (2.6)$$

Методы расчета аэрации. Из рассмотрения перетекания воздуха в помещении при естественной вентиляции можно сделать вывод, что картина перетекания обуславливается внутренним давлением. В свою очередь, от изменения площадей открытых отверстий (вентиляционных фрамуг) меняется внутреннее давление. Но всегда, изменяя соотношение приточных и вытяжных отверстий, можно подобрать такое внутреннее давление, которое обеспечивало бы выбранные направления перетекания.

При расчетах аэрации допускаются следующие упрощающие расчет предпосылки: не учитываются влияние инфильтрации воздуха через поры строительных материалов и щели; рассматривается установившийся процесс, то есть остаются неизменными все факторы, обуславливающие воздухообмен; температура воздуха внутри пролетов принимается одинаковой на всем протяжении и по всей высоте рассматриваемого участка; не учитываются расстановка оборудования и размещение источников теплоты, не принимаются в расчет местные потоки, которые существуют около источников теплоты; предполагается, что приточные струи полностью затухают, то есть энергия приточных струй полностью рассеивается.

Метод избыточных давлений. Определение расходов воздуха, движущегося под действием теплового давления через аэрационные отверстия, в случае, если известны их площади и расположение по вертикали, производится следующим образом.

1. Определяется средняя температура по высоте цеха:

$$t_{cp} = (t_{p,z} + t_{yx}) / 2, \quad (2.7)$$

где ρ_n – плотность наружного воздуха; ρ_{cp} – плотность воздуха при t_{cp} .

3. задается ориентировочное избыточное давление на полу цеха (или в центре одной из фрагм) $p_{изб}$.

4. Находятся избыточные давления на уровне (по центрам) всех фрагм (рис. 2.2):

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{изб} + h_1 \Delta \rho; & p_2 &= p_{изб} + h_2 \Delta \rho; \\ p_3 &= p_{изб} + h_3 \Delta \rho; & p_4 &= p_{изб} + h_4 \Delta \rho; \end{aligned}$$

где $\Delta \rho = \rho_n - \rho_{в}$.

5. Определяются скорости в аэрационных отверстиях для каждого отверстия соответственно:

$$v_1 = v_1^2 p_{в} / (2g); \quad v_i = \sqrt{p_i^2 \cdot 2g / \rho_n}. \quad (2.9)$$

Так же получаем значения v_2, v_3 .

6. Составляется баланс расхода воздуха, то есть притока и вытяжки. Для цеха масса приточного воздуха равна массе уходящего воздуха, то есть баланс расхода

$$\mu (v_1 f_1 + v_3 f_3) p_n = \mu_1 (v_2 f_2 + v_4 f_4) p_{yx}, \quad (2.10)$$

где μ – коэффициент расхода; введение этого коэффициента объясняется тем, что при движении потока через отверстие разность давлений тратится не только на создание динамического давления входа, но и на местное сопротивление при входе и выходе; f_i – площади аэрационных проемов.

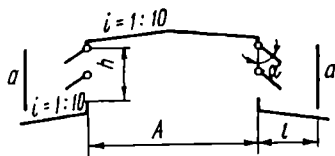
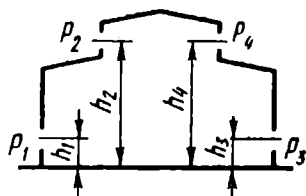


Рис.2.2. Схема к расчету аэрации методом избыточных давлений

Рис. 2.3. Незадуваемый аэрационный вытяжной фонарь: a – ветрозащитные щиты

Если приток оказался равным вытяжке, то избыточное давление принято правильно. Если приток оказался не равен вытяжке, нужно задаться новым значением избыточного давления по полу цеха.

7. При вторичном несовпадении баланса расхода по двум точкам строят график зависимости расходов от избыточных давлений. Из этого графика определяется истинное значение $p_{изб}$ и одновременно расход $G_{пр} = G_{выт}$.

Изменение расходов воздуха в зависимости от избыточного давления в действительности происходит по квадратичному закону (по параболе), однако при небольших отклонениях (примерно до 30 %) такая замена парабол прямыми линиями даст разницу в расходах не выше 3 %, что допустимо для практических расчетов.

Расчет аэрации при одновременном действии теплового и ветрового давлений. При необходимости учета ветровой аэрации расчет параметров вентиляции производится по следующей методике.

1. Определяют в области (в центре) фрамуг давления, создаваемые разностью плотностей наружного и внутреннего воздуха p_m , а также p_e , создаваемое ветром.

2. В зависимости от абсолютных значений p_m и p_e и знака перед p_e определяют суммарное, результирующее давление в области фрамуг

$$p = p_m + p_e.$$

3. Определив суммарное давление в области фрамуг, находят скорость движения воздуха (приточного или вытяжного) через фрамугу.

4. Определив скорость движения воздуха через фрамуги и зная также количество воздуха приточного или вытяжного, можно найти требуемую площадь вентиляционных фрамуг.

Конструктивное оформление аэрационных устройств. К аэрационным устройствам относятся открывающиеся приточные фрамуги (створки), фонари, дефлекторы, шахты.

Вытяжные проемы. Для удаления воздуха из помещения можно использовать в зависимости от строительных особенностей здания верхнюю часть высоких окон, но чаще всего используются проемы в фонарях. Для этого устраивают так называемые незадуваемые фонари. Такой фонарь работает на вытяжку обеими своими сторонами независимо от направления ветра, это своеобразный дефлектор. Для предотвращения задувания ветра в фонарь его снабжают ветроотбойными щитами, благодаря которым обе стороны фонаря работают на вытяжку, т.к. в пространстве между щитами и стенками фонаря образуется разрежение независимо от направления ветра (рис. 2.3).

Вытяжные шахты применяют для вентиляции промышленных зданий. Их устанавливают в перекрытиях зданий при отсутствии верхних проемов или фонарей для аэрации. Нередко вытяжные шахты используют при устройстве естественной вытяжки от оборудования с большими тепловыделениями в окружающую среду. Вытяжные шахты работают за счет естественного давления, возникающего вследствие разности температур воздуха в шахте и снаружи здания.

Дефлектор. Дефлекторами называют специальные насадки, устанавливаемые на устьях вытяжных труб или шахт с целью использования энергии ветра для увеличения разрежения, полезно используемого в вытяжных системах естественной вентиляции. В промышленных зданиях дефлекторы могут устанавливаться непосредственно над вытяжным отверстием в крыше. Простейшим дефлектором, по существу, является любая труба, над открытым концом которой движется воздушный поток

(ветер). Ветер создает разрежение над трубой, благодаря которому в последней возникает движение воздуха.

Специально устроенный дефлектор наилучшим образом позволяет использовать энергию ветра для создания разрежения в вентиляционной трубе (или шахте), на устье которой он устанавливается, предохраняя при этом от возможности попадания осадков и опрокидывания тяги (то есть возможности обратного движения воздуха в вытяжной вентиляционной шахте). Наибольшее распространение в настоящее время получил дефлектор ЦАГИ, имеющий специальный зонт-колпак, предохраняющий вытяжную шахту (на устье которой он устанавливается) от попадания атмосферных осадков и конусный щиток для предохранения дефлектора от действия ветра, если он направлен снизу вверх. Дефлекторы ЦАГИ бывают круглые и квадратные.

2.4. Системы искусственной вентиляции

Общеобменная вентиляция. *Общеобменная вентиляция* – система, в которой воздухообмен, найденный из условий борьбы с вредностью, осуществляется путем подачи и вытяжки воздуха из всего помещения (рис. 2.4). Чаще всего общеобменная вентиляция устраивается в жилых и общественных зданиях.

Общий принцип решения задачи оптимального размещения устройств притока и вытяжки состоит в том, что удаление воздуха следует производить из мест наибольшей концентрации вредности; приток же следует давать в места, где концентрация вредности наименьшая.

В системы механической общеобменной приточной вентиляции входят воздухоприемное устройство для наружного воздуха с клапаном, фильтр для очистки воздуха от пыли в наружном воздухе, воздухонагреватели–

калориферы, вентилятор, сеть воздухопроводов и устройства выпуска воздуха в рабочее помещение. В вытяжные системы механической вентиляции входят местные отсосы, воздухопроводы, фильтры для очистки воздуха от пыли, вентилятор с электродвигателем, вытяжная шахта с утепленным клапаном для отключения системы от наружного воздуха.

При проектировании строительной и технологической частей производственных зданий следует предусматривать площади для размещения вентиляционного оборудования. Снаружи здания по условиям эксплуатации вентиляционные агрегаты размещать не рекомендуется. В целях экономии полезной производственной площади вентиляционные установки можно располагать на площадках на высоте 3–4 м от пола.

Радиус действия систем вентиляции можно принимать не более 30–40 м при скорости воздуха в воздухопроводах $v=6\div 10$ м/с и до 60–70 м при $v<6$ м/с. Этими данными следует руководствоваться при определении числа приточных и вытяжных установок общеобменной вентиляции.

Местная вентиляция. Местной может быть вытяжная и приточная вентиляция. Местная вытяжная вентиляция – система, при которой вытяжное устройство в виде зонтов, укрытий размещается непосредственно у мест выделения вредностей. В местной приточной вентиляции подача приточного воздуха производится непосредственно к рабочему месту, то есть требуемое качество воздушной среды обеспечивается только в зоне нахождения рабочего (рис. 2.5). Местная вентиляция обычно устраивается в промышленных зданиях, где главные источники выделения вредностей сосредоточены у производственного оборудования.

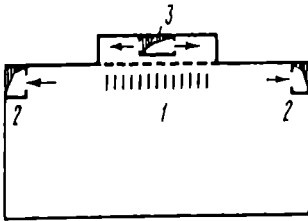


Рис. 2.4. Схема устройства общеобменной вентиляции: 1 – перфорированный потолок для подачи приточного воздуха; 2 – вытяжная вентиляция; 3 – канал приточной вентиляции

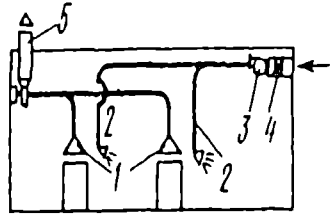


Рис. 2.5. Схема местной вентиляции: 1 – вытяжные зонты над местами выделения вредностей; 2 – приточные воздушные души; 3 – вентилятор; 4 – калорифер; 5 – агрегат вытяжной вентиляции

Местная вытяжная вентиляция. В промышленных зданиях с сосредоточенными источниками вредных выделений высокой интенсивности целесообразно в качестве вытяжной применять местную вентиляцию, так как она является наиболее эффективным видом улавливания вредностей.

Улавливание вредностей в месте их образования производится с помощью так называемых местных отсосов. Они предупреждают распространение вредностей по помещению, и тем самым эффект действия вентиляции достигается при минимальных воздухообменах и минимальных капитальных затратах. Применение местных отсосов позволяет решать основную задачу вентиляции – санитарно-гигиеническую.

Количество систем механической вытяжной вентиляции зависит от режима работы технологического оборудования и характера вредных выделений. Например, для удаления горячих газов, пыли, влаги следует

проектировать отдельные вытяжные системы. Количество местных отсосов, присоединенных к одной системе, с целью облегчения возможности регулирования, не рекомендуется принимать более 10–12.

При проектировании местной вытяжной вентиляции необходимо учитывать следующее.

При направленном потоке вредных выделений местный отсос должен располагаться в основном на линии распространения потока, при этом следует использовать энергию потока, а для этого нужно знать закономерности распространения струй, их взаимодействие с воздушными потоками, возникающими у вытяжных отверстий. Так как эффект всасывания наблюдается только на небольшом расстоянии от отверстия, отсос должен быть максимально приближен к источнику вредного выделения, наиболее полно изолируя его от окружающего воздуха.

Основные требования к местным отсосам заключаются в следующем. Через местный отсос должно обеспечиваться максимальное улавливание вредностей, выделяемых источником, с минимальным расходом воздуха. Удаляемый воздух не должен проходить через зону дыхания рабочего. Конструкция отсоса не должна мешать работе.

Местные отсосы бывают нескольких видов:

- *полуоткрытые* (с открытым проемом или отверстием), внутри которых находится источник вредных выделений; к ним относятся вытяжные шкафы, фасонные укрытия – при обработке вращающихся изделий – для улавливания пыли и т.д.;
- *открытые*, находящиеся за пределами источников вредных выделений (вытяжные зонты, бортовые отсосы и т.п.);

- **закрытые**, являющиеся составной частью кожуха машины или аппарата, имеющие отверстия или неплотности для поступления через них воздуха помещения (барабаны для очистки литья, дробилки и т.п.).

Рассмотрим некоторые из местных отсосов.

Вытяжные зонты. Зонты применяются, как правило, в случаях, когда выделяющаяся вредность легче окружающего воздуха, то есть имеется подъемная сила. Зонты – несовершенный местный отсос. Вследствие незащищенного пространства между источником вредности и зонтом окружающий воздух свободно подтекает к зоне всасывания, увеличивая объем воздуха, подлежащего удалению. Применять зонты можно при незначительной подвижности воздуха в помещении, так как поток воздуха, направляемый под зонт, может отклоняться. В целях обеспечения устойчивой работы зонтов их снабжают свесами, откидными или подъемными козырьками (рис. 2.6).

Бортовые отсосы. Бортовые отсосы устраиваются у производственных ванн. Производственные ванны представляют собой открытые резервуары, чаще всего четырехугольной формы, наполненные жидкостью с различными растворами, нередко весьма ядовитыми. Содержащиеся в ваннах растворы, испаряясь, разносятся по помещению и тем самым загрязняют в нем воздух. Вредности из производственных ванн могут выделяться в виде паров, газов и «полых капель», представляющих собой частицы газа, заключенные в жидкую оболочку. Эти капли, поднимаясь вверх, выносятся из ванны и, лопаясь, смешиваются с воздухом помещения.

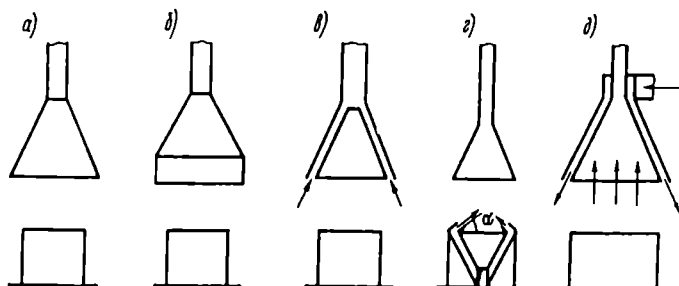


Рис. 2.6. Типы вытяжных зонтов: а – простой зонт; б – зонт с вертикальным бортом; в – активный зонт со щелями по периметру; г – зонт с поддувом (для уменьшения влияния подвижности воздуха в помещении на работу зонта $\alpha=45+50^\circ$, чтобы не было налипания струи на поверхность); д – модулированный зонт над кухонной плитой

Наиболее целесообразным решением вопроса с вентиляционной точки зрения следует считать полное укрытие ванны либо заключение ее в кожух в виде вытяжного шкафа с отсосом от него такого количества воздуха, которое воспрепятствовало бы проникновению вредностей в помещение. Однако по технологическим соображениям это возможно крайне редко, поэтому в вентиляционной практике получило большое распространение устройство отсоса по бортам ванны в виде сплошной щели, называемой бортовым отсосом.

При ширине ванны до 0,7 м применяют односторонние отсосы (рис. 2.7), устраиваемые с одной из продольных ее сторон. При ширине ванны от 0,7 до 1 м применяют двухсторонние отсосы (рис. 2.8).

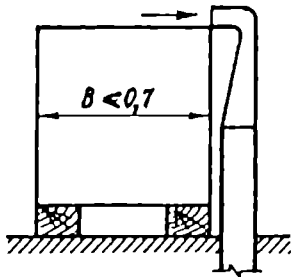


Рис. 2.7. Однобортовой отсос от ванны

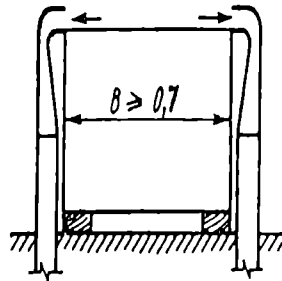


Рис. 2.8. Двухбортовой отсос от ванны

Бортовые отсосы с передувкой. Бортовые отсосы активируются компактными и плоскими приточными струями, которые захватывают воздух и направляют его к местному отсосу. Применение передувок дает возможность снизить влияние посторонних токов воздуха в помещении на устойчивость перетекания паро- и газообразной вредности к приемнику и снизить расход воздуха по сравнению с бортовыми отсосами. При действии компактной струи происходит подсасывание струей окружающего воздуха.

Плоские струи, перекрывающие всю ширину ванн, при таком способе вентиляции не нужны; скорость струи перед всасывающим отверстием должна быть порядка 1,5 м/с для устранения возможности прогиба оси струи за счет действия гравитационных сил; для увлечения вредных выделений необходимо, чтобы конечные расходы струи были большими, чем расход поднимающегося от ванн конвекционного потока, с учетом подмешивания к струям воздуха из помещения.

При размещении передувок непосредственно у бортов ванн струя распространяется вблизи поверхности и в силу специфических условий налипает (настиляется) на поверхность.

В качестве передувков применяют сопла и чаще насадки, размещаемые в виде плоской щели вдоль одной стороны ванны. На противоположной стороне ванны размещается всасывающее отверстие (рис. 2.9). Настилающаяся струя движется по поверхности жидкости в ванне. За счет нагревания и увлажнения воздуха в струе у частиц появляется подъемная сила (а также в результате подъема из ванны газов легче воздуха), а под влиянием последней – вертикальная составляющая скорости, благодаря которой струя движется под некоторым углом к ванне, зависящим от соотношения векторов скоростей. Для полного улавливания частиц отсосом необходимо, чтобы скорость струи при подходе к вытяжному отверстию была больше скорости, появляющейся в результате подъемной силы.

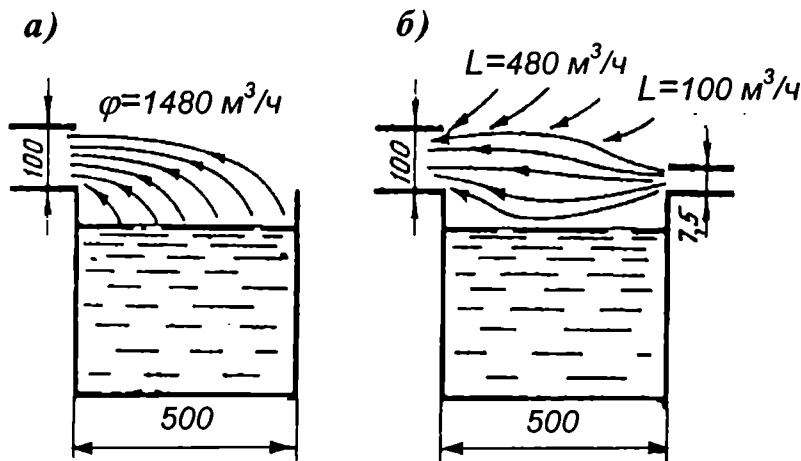


Рис. 2.9. Работа бортового отсоса и передувки: *а* – односторонний отсос, $L = 1480 \text{ м}^3/\text{ч}$; *б* – передувка плоской струей; $L_{\text{струя}} = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_{\text{отсоса}} = 480 \text{ м}^3/\text{ч}$

Целесообразность применения передувки сравнительно с бортовыми отсосами видна из графиков на рис. 2.9. Удовлетворительная эффективность действия однобортового отсоса достигается (при отсутствии сдува) при расходе воздуха 1460 м³/ч, при использовании передувки отсос в количестве 480 м³/ч оказывается вполне достаточным, при этом для сдува требуется воздуха около 100 м³/ч.

Местные отсосы для улавливания пыли. Пыль представляет собой свободные твердые частицы, которые благодаря своим малым размерам витают в неподвижном воздухе или равномерно и медленно оседают. Воздух промышленных предприятий, где производственные процессы сопровождаются пылеобразованием, загрязняется пылью. Условия распространения пыли в воздухе существенно отличаются от условий распространения паров и газов, выделяющихся в процессе производства.

Пыль крупностью частиц более 1 мкм не обладает свойством диффузии. Наличие в помещении токов воздуха, вызванных конвекцией, движением частей машин и т.п., является причиной распространения пыли в помещении. Находящаяся во взвешенном состоянии пыль под действием силы тяжести оседает. Таким образом, воздух в спокойном состоянии самоочищается. При наличии ощутимой подвижности воздуха оседание пыли замедляется.

Поэтому для обеспыливания воздуха помещений применение общеобменной вентиляции недостаточно эффективно. Возникающие при общеобменной вентиляции токи воздуха мешают оседанию пыли, в особенности при подаче воздуха снизу вверх. Увеличение воздухообмена повышает подвижность воздуха в помещении и также не уменьшает его запыленность. Наиболее

эффективным средством борьбы с запыленностью воздуха помещений является местная вентиляция, т.к. локализация источника пыления достигается укрытием последнего и организованным удалением запыленного воздуха из-под укрытия.

В связи с этим на промышленных предприятиях, где технологические процессы сопровождаются пылеобразованием, местные отсосы получили широкое распространение. Конструктивное оформление их очень разнообразно. Как правило, эффективность отсоса определяется экспериментально.

Критерием оценки эффективности местного отсоса с гигиенической точки зрения является отсос, при действии которого на рабочем месте обеспечивается концентрация не выше предельно допустимой концентрации (ПДК).

Экономическая целесообразность и конструктивное совершенство местного отсоса определяются аэродинамической характеристикой и коэффициентом эффективности. В аэродинамическую характеристику входят объем отсасываемого воздуха, скорости всасывания, их распространение по рабочему и другим проемам, сопротивление воздухоприемника.

Коэффициент эффективности местного отсоса определяется по формуле

$$\eta = (K_{м.о} - K_{р.м}) / K_{м.о} , \quad (2.11)$$

где $K_{м.о}$ – концентрация вредности в удаляемом местным отсосом воздухе (вредности, которой в приточном воздухе нет); $K_{р.м}$ – концентрация вредности на рабочем месте (около местного отсоса).

Устройства местной вытяжки от пылящего оборудования должны удовлетворять следующим требованиям:

пылящее оборудование (или место возникновения пыли) следует заключить в кожух с минимальным количеством неплотностей; количество воздуха, удаляемого от пылеотсосного устройства, должно создать внутри последнего разрежение, достаточное для устранения выбивания пыли в помещение; герметизирующий кожух не должен создавать неудобства в обслуживании агрегата; отсос воздуха из герметизирующего кожуха следует производить с минимальной скоростью.

Расчет отсосов для улавливания пыли. Как правило, расчет объемов воздуха, отсасываемого от пылеприемного устройства, производится на основании данных, полученных в результате натурных исследований, позволивших выявить эмпирические формулы. Покажем это на примере расчета аспирации от станков обдирочного шлифования сталей и сплавов.

Принцип устройства местного отсоса показан на рис. 2.10 (отсос от шлифовальных и полировальных кругов). В нижней части кожуха для оседания крупных фракций пыли находится конический бункер с опорожнительным люком 2. Для смены кругов устроена дверка 3. Дверка запирается болтами с барашком 4. Петля 5, на которой висит дверка, устроена наклонной, чтобы после открытия дверка сама откидывалась назад. Козырек препятствует выбиванию пыли в верх-

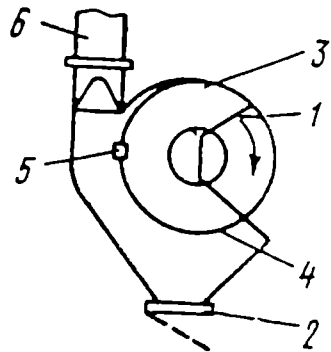


Рис. 2.10. Отсос от шлифовального станка

ней части кожуха. Во избежание засасывания крупных фракций пыли отсасывающий патрубок б направлен вверх.

Расчет отсосов для улавливания пыли. Как правило, расчет объемов воздуха, отсасываемого отпылеприемного устройства, производится на основании данных, полученных в результате натурных исследований, позволивших выявить эмпирические формулы. Покажем это на примере расчета аспирации от станков обдирочного шлифования сталей и сплавов.

Исследования структуры воздушного потока в зоне действия всасывающих отверстий показали, что для значений числа Рейнольдса $Re=3500-100000$ спектр всасывания автомоделен и степень затухания зависит от формы и площади сечения пылеприемного отверстия станка. Количество воздуха, отсасываемого от станка с прямоугольным всасывающим отверстием можно рассчитать по следующим эмпирическим формулам:

при $l/A \leq 2$

$$L = \frac{1}{0,8} \left[(l/A)^{1,4} + 0,8 \right] v_x F \cdot 3600 ; \quad (2.12)$$

при $l/A > 2$

$$L = \left[(l/A)^{1,7} + 1 \right] v_x F \cdot 3600 , \quad (2.13)$$

где v_x – скорость на оси всасывающего отверстия в точке, удаленной на расстояние x от отверстия, м/с; v_{cp} – средняя скорость воздуха во всасывающем отверстии, м/ч; l – максимальное удаление точки контакта абразивного круга с металлом от всасывающего отверстия, м; A – гидравлический радиус, $A=F/p$; F – площадь всасывающего отверстия, м²; p – периметр отверстия, м.

Из опытов выявлено, что для абразивных станков можно принимать: $l=0,2-0,6$ м; $h=0,3-0,8$ м; $B=0,2-0,6$ м; $v_x=0,6$ м/с, где h и B – соответственно высота и ширина пылеприемного отверстия.

Вытяжные шкафы. Когда источник выделения вредностей находится внутри укрытия, местные отсосы называются вытяжными шкафами, или камерами. Вытяжной шкаф ограничивает стенками зону распростра-

нения вредных выделений и принудительным засасыванием воздуха внутрь предотвращает попадание их через открытые проемы и щели в помещение (рис. 2.11).

Шкаф с нижним отсосом следует применять в процессах, связанных с выделением пыли и тяжелых газов без повышения температуры в шкафу. Для такого шкафа целесообразно плоскость открытого рабочего отверстия устраивать наклонной (рис. 2.11, *з*). В этом случае голова рабочего будет находиться вне шкафа. Выполнять работы в таком шкафу так же удобно, как и в открытом помещении.

Шкаф с комбинированным отсосом (рис. 2.11, *в*) может применяться во всех случаях, за исключением тех, когда проводятся работы при большой тепловой нагрузке.

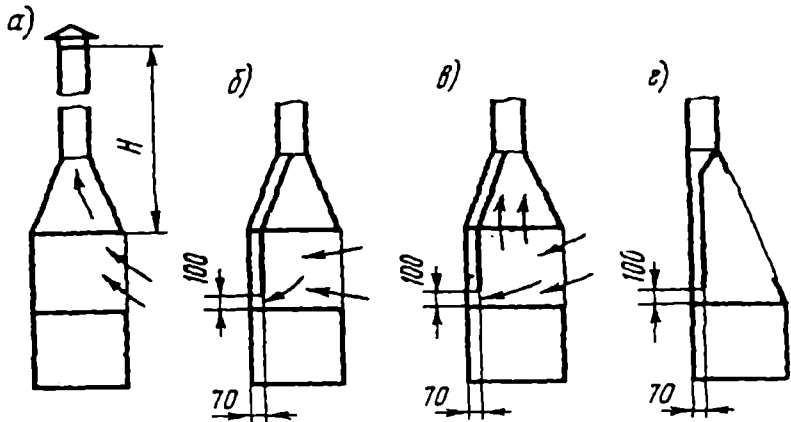


Рис. 2.11. Вытяжные шкафы: а – с верхним отсосом и вертикально расположенной плоскостью всасывающего отверстия; **б** – то же, с нижним отсосом; **в** – то же, с комбинированным отсосом; **г** – то же, с наклонной плоскостью рабочего отверстия; *А* – свободный конец металлического листа для регулировки

Шкафы могут работать с естественной и механической вытяжками.

Практические данные, полученные в результате исследования работы шкафов, следующие:

- у верхней кромки рабочего отверстия шкафа с верхним отсосом скорость больше, чем у нижней, примерно вдвое;
- чтобы получить одинаковые скорости всасывания по всему сечению рабочего отверстия шкафа с отсосом сверху и снизу, необходимо отсасывать снизу 90 %, а сверху 10 % расчетного объема воздуха;
- если весь воздух отсасывать только снизу, у нижней кромки шкафа наблюдается незначительное повышение скоростей;
- скорости у боковых стенок рабочего отверстия составляют приблизительно $0,5v$ (v – расчетная скорость всасывания);
- в химических шкафах под дверкой следует оставлять щель 50–100 мм для засоса воздуха; при плотном закрытии дверок циркуляция воздуха в шкафу, обеспечивающая проветривание, будет недостаточна;
- расчетная скорость всасывания в рабочем отверстии не должна быть меньше 0,3 м/с (при ядовитых газах – 0,7–1,0 м/с);
- при двустороннем отсосе (сверху и снизу) должна быть предусмотрена возможность регулирования распределения количеств воздуха, отсасываемого сверху и снизу.

Расчет вытяжных шкафов включает следующее: вычисление скоростей отсоса, средней скорости всасывания в открытое сечение рабочего проема и скорости в сечениях отсасывающих рабо-

чих отверстий и патрубков; определение расхода воздуха, удаляемого от шкафа; аэродинамический расчет.

Объем отсасываемого воздуха может определяться исходя из площади открытого рабочего проема шкафа и средней скорости всасывания, которая, по опытным данным, составляет 0,3–1,5 м/с. Расход воздуха от шкафа с верхним отсосом для улавливания входящего потока (теплота) может быть определен по формуле

$$L = 3600 \mu F \sqrt{2gH(\rho_{\text{в}} / \rho_{\text{ух}} - 1)}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.14)$$

где μ – коэффициент расхода, равный 0,75; F – площадь всасывания шкафа, м²; H – высота трубы, м; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха помещения, кг/м³; $\rho_{\text{ух}}$ – плотность воздуха, уходящего из шкафа, кг/м³.

$$\rho_{\text{ух}} = [\rho_{\text{ш}}L_{\text{ш}} + \rho_{\text{в}}(L - L_{\text{ш}})]/L, \quad (2.15)$$

где $L_{\text{ш}}$ – объем выделяющихся газов с плотностью $\rho_{\text{ш}}$.

Скорость воздуха в рабочем отверстии шкафа v равна

$$v = L/(3600F). \quad (2.16)$$

Аэродинамический расчет состоит в определении потерь давления при движении воздуха по тракту "вытяжной шкаф – вытяжная труба" (если вытяжка естественная): определяются располагаемое давление p и потери давления по пути движения воздуха Δp :

$$p = H(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{ух}}),$$

$$\Delta p = \Sigma(Rl + Z),$$

где $\rho_{\text{н}}$ – плотность наружного воздуха, кг/м³; Rl и Z – соответственно потери давления на преодоление сил трения и местных сопротивлений.

Расчет считается выполненным удовлетворительно, если $p > \Delta p$.

Если $p < \Delta p$, то можно или увеличить высоту H , или считать тракт "шкаф – вытяжная труба", изменив соответственно скорость движения воздуха по трубе, не меняя значения скоростей всасывания в рабочем отверстии и в приемных отверстиях шкафа.

Местная приточная вентиляция применяется для помещений большого объема с незначительным количеством постоянно присутствующих людей, то есть в тех случаях, когда технически или с точки зрения

экономики затруднительно создать комфортные условия микроклимата в объеме всего помещения, но можно подавать воздух с заданными параметрами непосредственно в зону дыхания к рабочим местам. К наиболее распространенным устройствам местной приточной вентиляции относятся воздушные души и воздушные (или водо-воздушные) завесы. Приточная местная вентиляция применяется в основном как средство нормализации теплового режима.

Например, в таких помещениях, где в холодное время года резко нарушается микроклимат при открытии ворот или наружных дверей, эффективным мероприятием является устройство воздушных или воздушно-тепловых завес. Для защиты от лучистого тепла применяют теплоизоляцию горячих поверхностей, экранирование источников тепловых излучений и рабочих мест, воздушное душирование, средства индивидуальной защиты, предусматривают перерывы для отдыха.

Воздушные души. Примером местной приточной вентиляции является воздушное душирование фиксированных рабочих мест. К рабочим местам, на которых следует устраивать воздушные души часто как необходимое дополнение к общеобменной вентиляции, относятся: рабочие места у загрузочных и разгрузочных отверстий печей на металлургических заводах, в литейных, кузнечных, термических цехах машиностроительных заводов, стекольной, керамической и других отраслей промышленности; рабочие места при обработке раскаленного металла, при ковке и горячей штамповке изделий на прессах, молотах, ковочных машинах в кузнечных цехах; места, на которых рабочий подвергается одновременным воздействиям теплоты и пыли или только пыли, или места, на которых в воздух поступают вредные газы, и т.п.

Выше было сказано, что воздушное душирование часто применяется как необходимое дополнение общеобменной вентиляции. Однако нередко воздушное душирование фиксированных рабочих мест является основной механической вентиляционной системой. Необходимый же воздухообмен для ассимиляции избыточной теплоты может быть осуществлен азрацией.

Различают следующие виды воздушных душей:

- подающие наружный воздух, который может подвергаться охлаждению или подогреванию;
- подающие наружный воздух без обработки;
- подающие внутренний воздух с его охлаждением;
- подающие внутренний воздух без обработки.

Для защиты рабочих мест от теплового излучения чаще всего устраивают местные воздушные и воздушно-водяные души со скоростью перемещения воздушной струи 1,0–3,5 м/с в зависимости от температуры источника тепла. Эти же агрегаты, но с подогревом воздуха могут быть использованы в зимний период для создания нормального микроклимата на рабочих местах при действии радиационного холода.

Воздушные завесы. В холодное время года через открываемые двери, а в производственных зданиях через ворота в помещения врывается холодный наружный воздух. Этот воздух охлаждает помещение, создает токи отрицательного воздействия (сквозняки) и вызывает простудные заболевания.

Мерами защиты помещения от проникания холодного наружного воздуха является устройство тамбуров, шлюзов, вращающихся дверей. Когда названные способы по разным причинам неприемлемы, следует устраивать воздушные завесы.

Воздушная завеса – это результат взаимодействия двух потоков: воздушной струи и набегающего на нее

горизонтального потока воздуха. Воздушная струя, не препятствуя движению людей и транспорта, как правило, существенно уменьшает количество проникающего в помещение наружного воздуха (рис. 2.12).

Различают следующие типы воздушных завес:

- по направлению подачи воздушной струи: а) снизу вверх; б) сверху вниз; в) сбоку ворот;
- по режиму работы завесы: периодически и постоянно действующие;
- по месту воздухозабора и температуры подаваемого воздуха: а) с забором внутреннего воздуха с температурой t_b и подогревом его перед подачей в завесу до t_3 ; б) с забором внутреннего воздуха и подачей его в завесу без подогрева ($t_3=t_b$); в) с забором наружного воздуха и подогревом его перед подачей в завесу ($t_3>t_n$); г) с забором наружного воздуха и подачей его в завесу без подогрева ($t_3=t_n$).

По варианту *а* (рис.2.12) устраиваются завесы, если необходимо сохранить неизменными параметры микроклимата производственных помещений, обычно если в последних вблизи ворот расположены рабочие места. По варианту *б* устраиваются завесы, если допустимо понижение температуры в зоне ворот или при устройстве завес в проемах внутренних стен, разделяющих два помещения. По варианту *в* воздушные завесы могут быть использованы в качестве агрегата приточной вентиляции, в этом случае воздушная завеса может работать постоянно; по варианту *г* воздушная завеса как бы преграждает полностью доступ наружного воздуха в помещение.

Воздушные или воздушно-тепловые завесы устраивают в следующих случаях:

- у ворот, открывающихся чаще 5 раз или не менее чем на 40 мин в смену, расположенных в районах с

расчетной температурой наружного воздуха для холодного периода года – 15°C и ниже (параметры *Б*), если исключена возможность устройства тамбуров или шлюзов;

- у ворот или технологических проемов при любых наружных температурах и любой продолжительности открывания при соответствующем обосновании;
- в тамбурах и шлюзах у входных дверей vestibule общественных зданий и вспомогательных зданий промышленных предприятий;
- в тамбурах и шлюзах у входных дверей общественных и производственных зданий и помещений, оборудованных системами кондиционирования воздуха.

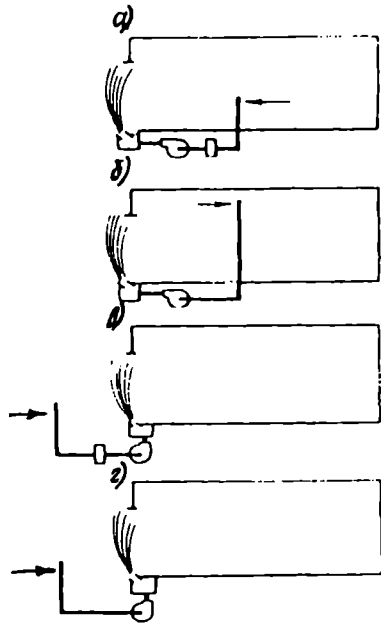


Рис.2.12. Схемы воздушных завес с различными местами воздухозабора и температурой подаваемого воздуха

Температуру воздуха завесы, как правило, принимают не выше 50°C . Скорость выхода воздуха из уст-

ройств завесы не более 25 м/с (в производственных зданиях).

Следует отметить, что воздушные завесы в зависимости от местных условий устраиваются с подачей воздуха через горизонтальную щель, расположенную внизу проема, с подачей воздуха через горизонтальную щель, расположенную сверху проема или чаще всего с боковой подачей воздуха через вертикальные щели по обеим сторонам проема.

При устройстве завесы с боковой подачей воздуха следует обеспечить усиленную подачу воздуха в нижнюю часть проема (в нижнюю треть по высоте ворот). С этой целью нижнюю часть щели следует делать шире верхней. По эффекту действия лучшими являются двусторонние боковые завесы. При их действии не наблюдается уменьшения температуры воздуха в районе ворот в момент прохождения транспорта.

Расчет воздушных завес. Воздушную завесу можно рассматривать как плоскую неизотермическую струю, действие которой развивается на границе двух сред: наружного и внутреннего воздуха.

При открывании ворот в открытый проем направляется поток воздуха снаружи. Причинами, вызывающими движение воздуха через ворота, являются: ветер, разрежение в нижней части здания вследствие различия плотностей внутреннего и наружного воздуха и разрежение в здании вследствие преобладания объема воздуха вытяжной вентиляции над приточной. Слишком большое разрежение вследствие превышения вытяжки над притоком может свести на нет действие воздушной завесы, то есть в открытые ворота будет поступать воздух наружный в количестве намного больше расчетного. Поэтому при эксплуатации завесы нужно обязательно устранить излишние объемы вытяжного воздуха.

Скорость набегающего потока

$$v = \sqrt{2\Delta p g / \rho}, \quad (2.18)$$

где Δp – разность между наружным и внутренним давлением по обе стороны ворот (наружное давление учитывается как комбинированное действие трех причин, указанных выше).

Однако в расчет удобнее вводить не разность давлений, а геометрическую высоту z , то есть высоту расположения нейтральной зоны (на которой внутреннее и внешнее давление равны). Разность давлений на высоте x от пола вычисляется по формуле

$$\Delta p = \Delta \rho (z - x), \quad (2.19)$$

где $\Delta \rho$ – разность плотностей внутреннего и наружного воздуха.

Выражение для скорости v может быть записано в виде

$$v \approx 0,26 \sqrt{\Delta t (z - x)}, \quad (2.20)$$

где Δt – разность температур внутренней t_i и наружной t_n .

Тогда максимальная скорость у пола (при $x=0$)

$$v_{\max} = 0,26 \sqrt{z \Delta t}. \quad (2.21)$$

По формулам (2.20) и (2.21) можно для конкретных условий построить график распределения скоростей (рис. 2.13).

Средняя скорость свободной струи, выходящей из щели завесы,

$$v_{cp} = 0,58 v_0 / \sqrt{as / b + 0,205}, \quad (2.22)$$

где v_0 – начальная скорость истечения из щели; b – ширина щели; s – длина струи (вместо x в формуле введена длина s , так как ось завесы не совпадает с осью x координат); a – коэффициент турбулентной структуры.

Длину s можно выразить через проекцию на координатную ось x формулой

$$s = x / \cos \alpha, \quad (2.23)$$

где α – угол наклона струи; h – длина завесы (см. рис. 2.13). Одновременное действие струи и набегающего потока определяется количеством воздуха L_n , пересекающего ось Ox (в пределах проема):

$$L_n = \varphi_n B, \quad (2.24)$$

где φ_n – линия тока; B – ширина ворот.

Количество воздуха L_0 , выпущенного через щель размером $s \times b$ (b – ширина щели), определяется по формуле

$$L_0 = v_0 B b, \quad (2.25)$$

где v_0 – начальная скорость струи.

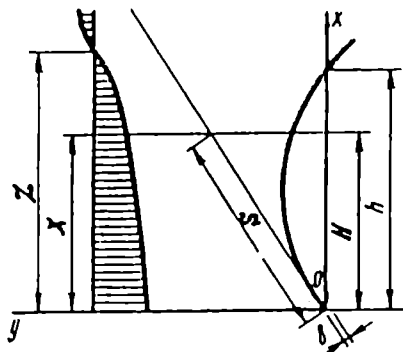


Рис. 2.13. Распределение скоростей в проеме ворот

Характеристика завесы R определяется по формуле

$$R = (L_s - L_n) / L_0, \quad (2.26)$$

где L_s – расход воздуха через ворота при бездействии вентиляции; L_n – расход наружного воздуха, допускаемого к прорыву в помещение; L_0 – расход воздуха на завесу.

Для завес с нижней подачей характеристика завесы следующая:

$$R_n = \varphi_n \sqrt{H / b + 1}; \quad (2.27)$$

для завес с боковой подачей характеристика завесы

$$R_s = \varphi_s \sqrt{B / b + 1}. \quad (2.28)$$

Функции φ_n и φ_s определяются графически: $\varphi = f(a, \alpha)$ (рис. 2.14, 2.15).

Физический смысл характеристики завесы R : она показывает количество задержанного завесой воздуха, приходящегося на 1 м^3 воздуха завесы. Характеристика зависит от конструктивного оформления завесы.

Величина $\eta = (L_s - L_n) / L_s$ называется коэффициентом полезного действия завесы.

Расчет воздушно-тепловых завес у входных дверей общественных зданий. При расчете воздушно-тепловых завес у входных дверей учитываются число проходящих людей, конструкция входа (одинарные, двойные, тройные или вращающиеся двери), месторасположение забора воздуха.

Входные двери рассматриваются как приточный проем, а действие завесы – как отопительное устройство для нагрева наружного воздуха, поступающего через вход в здание.

Раздачу воздуха следует принимать двустороннюю через боковые отверстия воздуховода высотой 1,2 м, как можно ближе к открываемым дверям через отверстия не ниже 0,1 м от пола; скорость воздуха, поступающего из воздушно-тепловой завесы, 4–5 м/с.

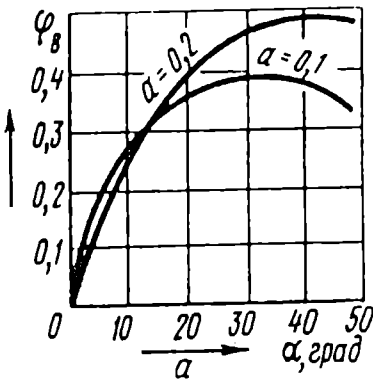


Рис. 2.14. Графическое изображение функции φ_n (при подаче снизу)

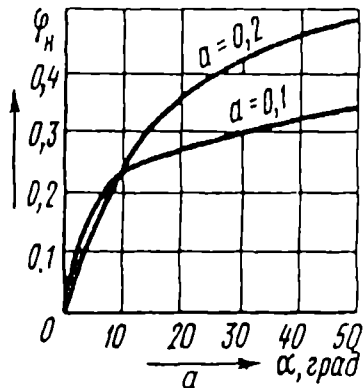


Рис. 2.15. Графическое изображение функции φ_v (при подаче сверху)

Количество наружного воздуха, поступающего через вход в здание при сбалансированных расходах приточной и вытяжной вентиляции, определяется по формуле

$$Q_{ax} = K \cdot 3600 F_{ax} \mu_{ax} \sqrt{9,81(h_{л.к} + 2h_{эм} - H_{дв}) (\rho_n - \rho_v) \rho_n}, \quad (2.29)$$

где K – поправочный коэффициент в зависимости от числа проходящих людей, места забора воздуха для агрегата завесы и конструкции входа; F_{ax} – площадь одной открываемой створки наружных входных дверей, m^2 ; μ_{ax} – коэффициент расхода (для одинарных дверей $\mu_{ax} = 0,7$, для двойных дверей $\mu_{ax} = 0,65$, для двойных с тамбуром $\mu_{ax} =$

0,6, для вращающихся дверей $\mu_{ax} = 0,1$); $h_{л.к}$ – высота лестничной клетки от уровня земли, м; $h_{эт}$ – полная высота одного этажа, м; $H_{дв}$ – высота входных дверей, м.

Производительность воздушной завесы определяется по формуле

$$Q_z = G_{ax}(t_e - t_n) / (t_s - t_e). \quad (2.30)$$

Пример. Рассчитать воздушно-тепловую завесу для общественного здания при заборе на завесу внутреннего воздуха.

Дано: $t_n = -26^\circ\text{C}$; $\rho_n = 1,43 \text{ кг/м}^3$; $h_{л.к} = 9 \text{ м}$; $t_e = 16^\circ\text{C}$; $\rho_e = 1,22 \text{ кг/м}^3$; $h_{эт} = 3 \text{ м}$; $H_{дв} = 2,5 \text{ м}$. Площадь открываемой створки двери $F_{ax} = 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ м}^2$, количество проходящих людей $n = 1000 \text{ чел/ч}$; $K = 0,38$; $\mu_{ax} = 0,1$ (входные вращающиеся двери).

Решение.

1. Определяем количество наружного воздуха, поступающего через вход:

$$G_{ax} = 0,38 \cdot 3600 \cdot 2 \cdot 0,1 \sqrt{9,81(9 + 2 \cdot 3 - 2,5)} (1,43 - 1,22) = 1590 \text{ кг/ч.}$$

2. Определяем расход воздуха на завесу:

$$G_z(t_s - t_e) = G_{ax}(t_e - t_n),$$

откуда

$$G_z = G_{ax}(t_e - t_n) / (t_s - t_e) = 1590 [16 - (-26)] / (50 - 16) = 1960 \text{ кг/ч.}$$

3. Определяем расход теплоты на завесу:

$$Q_z = G_z \cdot 0,28 (t_s - t_e) = 1960 \cdot 0,28 (50 - 16) = 18600 \text{ Вт.}$$

Коэффициент расхода через вход для вращающейся двери $\mu_{ax} = 0,1$, для других типов дверей он больше в 4,5–7 раз, что является причиной естественного снижения расхода теплоты на завесу, то есть вращающиеся двери позволяют существенно экономить теплоту и соответственно электроэнергию.

Комбинированные (смешанные) системы вентиляции. *Смешанная вентиляция* – система, в которой сочетаются элементы общеобменной и местной вентиляции (рис. 2.16). Такая система устраивается в случаях, когда удаление всех выделяющихся вредностей местными вытяжными устройствами произвести не удастся и кроме

местной устраивается общая вытяжка, или в том случае, когда вытяжная вентиляция устраивается местной, а приточная – общей ввиду отсутствия, например, в помещении строго фиксированных рабочих мест.

Как правило, в цехах с выделением токсичных паров и газов рациональной схемой устройства вентиляции является местная механическая вентиляция для улавливания вредных выделений. В дополнение к местной предусматривают общеобменную вытяжную вентиляцию для удаления вредных выделений из верхней зоны помещения. При этом в химическом производстве местные отсосы от щелочных и кислотных ванн присоединяют к самостоятельным отдельным системам.

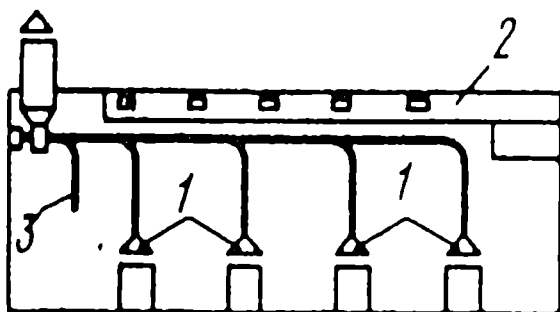


Рис. 2.16. Схема смешанной вентиляции, местной вытяжной и общей приточной: 1 – местная вытяжная вентиляция; 2 – общая приточная вентиляция для всего помещения (приточная камера не показана); 3 – отвлечение для осуществления общей вытяжки из помещения

С санитарной точки зрения очень важно конструировать оборудование для процессов, использующих вредные вещества или сопровождающихся выделением вредностей, с встроенными в него местными отсосами. При проектировании технологического оборудования должна учитываться необходимость герметизации

процессов загрузки и выгрузки из аппаратов токсических веществ. На предприятиях химической промышленности должны предусматриваться аварийная вентиляция и дублирование вытяжных вентиляторов. Приточный воздух при этом подается в верхнюю зону.

В цехах с избытками явной теплоты (порядка 70–100 Вт/м³) – кузнечных, термических и др., – целесообразно устраивать приточную механическую вентиляцию в виде воздушного душирования фиксированных рабочих мест (при облучении более 300 Вт/м³); вытяжную установку в виде бортовых отсосов от оборудования – ванн травильных, закалочных и др.

Недостающий же воздухообмен для ассимиляции избыточной явной теплоты осуществляется общеобменной организованной естественной вентиляцией-аэрацией, при которой подача приточного воздуха в теплый период года осуществляется через створки проемов, размещаемых на высоте 0,5–1 м от пола, и в холодный период года через проемы, расположенные на высоте 4–6 м от пола. Естественная вытяжная вентиляция осуществляется из верхней зоны через вытяжные аэрационные фонари, устраиваемые, как правило, незадуваемыми, с ветрозащитными щитами. В летнее время для естественного притока также используют проемы ворот, снабженные воздушными завесами.

Оценку полноты использования приточного воздуха можно производить по коэффициенту эффективности (воздухообмена)

$$K_{зф} = (t_{yx} - t_{np}) / (t_{p.z} - t_{np}),$$

где t_{yx} , t_{np} , $t_{p.z}$ – соответственно температура воздуха уходящего, приточного и рабочей зоны.

2.5. Методы контроля состояния воздушной среды

Воздушная среда рабочей зоны должна соответствовать санитарным нормам. Для того чтобы проконтролировать это соответствие, необходимо количественно оценить каждый из параметров воздушной среды.

Температура воздуха в производственных помещениях обычно колеблется в некоторых пределах. Поэтому для объективной оценки измерение ее проводят в нескольких характерных точках помещения, на рабочих местах на уровне 1,3–1,5 м от пола и в разное время смены.

Для измерения текущих значений температуры используют обычный термометр (ртутный или спиртовой). При необходимости измерения наивысшего или наименьшего значения температуры в период между наблюдениями применяют соответственно максимальный или минимальный термометр. Для текущей записи температуры воздуха используют термограф.

Широкое применение получили электрические термометры. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с жидкостными: высокой чувствительностью, возможностью измерения на расстоянии и соединения с устройствами автоматики.

Влажность воздуха различают абсолютную, максимальную и относительную. *Абсолютная* влажность представляет собой массу водяных паров в 1 м³ воздуха, *максимальная* – наибольшее количество водяных паров, насыщающих воздух при данной температуре, г/м³. *Относительная* влажность – отношение абсолютной влажности воздуха к максимальной, выраженное в процен-

тах. Этот показатель характеризует степень насыщения воздуха водяными парами и определяется по формуле

$$\varphi = \rho_n / \rho_{n,n} ,$$

где $\rho_{n,n}$ – абсолютная влажность воздуха в насыщенном состоянии, кг/м³.

Относительную влажность количественно оценивают при помощи гигрометра или гигрографа. Датчиками в этих приборах служат либо обезжиренный человеческий волос, либо специальные синтетические диафрагмы, которые изменяют свои размеры пропорционально изменению относительной влажности. Абсолютную влажность рассчитывают по показаниям стационарного (рис. 2.17, а, б) или аспирационного (рис. 2.17, в) психрометра. Работа этих приборов основана на психрометрическом принципе, то есть на определении показаний «сухого» и «влажного» термометров. Резервуар последнего обертывают батистовым колпачком, который смачивается дистиллированной водой. Показания «влажного» термометра обычно ниже показаний «сухого», поскольку испаряющаяся с колпачка влага отнимает тепло.

Относительную влажность можно определить также по психрометрическим таблицам или номограммам исходя из показаний «сухого» и «влажного» термометров.

Скорость движения воздуха. Для измерения скорости движения воздуха используют анемометры различных конструкций.

Механические анемометры – крыльчатый АСО-3 (рис. 2.18, а) и чашечный МС-13 (рис. 2.18, б) – работают на принципе измерения за определенный срок частоты вращения приемной вертушки прибора, помещенного в установившийся воздушный поток. Пределы изме-

рений крыльчатого анемометра составляют от 0,3 до 5 м/с, а чашечного – от 1 до 20 м/с.

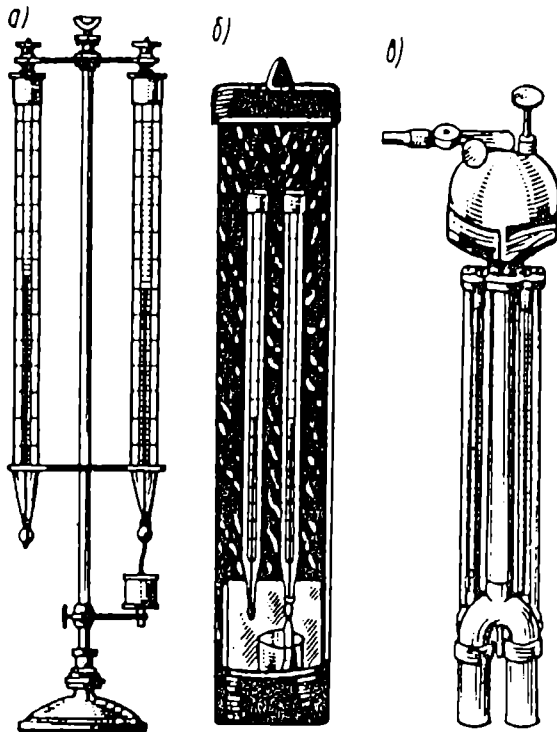


Рис. 2.17. Психрометры *а* – стационарный Августа без футляра; *б* – то же в футляре; *в* – аспирационный Ассмана

Индукционные анемометры АИ-1, АИ-2 работают на принципе измерения угловой скорости вращения вертушки методом электрического индукционного тахометра. Они имеют пределы измерений от 2 до 30 м/с.

Термоэлектрические анемометры используют датчики, основанные на принципе оценки скорости потока по эффекту охлаждения нагретых электрических элементов. АТЭ-1 имеет пределы измерения от 1 до 20 м/с,

АТЭ-2 используется для измерения малых скоростей – менее 0,5 м/с.

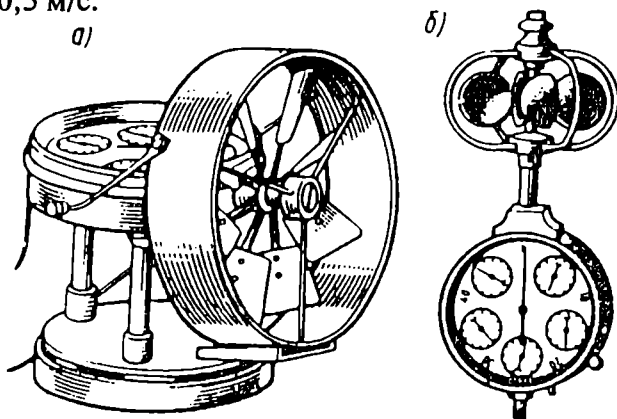


Рис. 2.18. Анемометры *а* - крыльчатый; *б* - чашечный

Малые скорости движения воздуха (до 0,5 м/с) обычно измеряют также *кататермометрами* (*тепловыми анемометрами*). Работа этих приборов (рис. 2.19) основана на определении охлаждающей способности воздуха при средней температуре человеческого тела.

Оценка загрязнения воздуха заключается в определении состава и концентрации вредных примесей. Методы оценки различны и выбираются в зависимости от требуемой точности результата и необходимой скорости его получения. Периодичность контроля состояния воздушной среды устанавливается органами санитарного надзора.

Для точных измерений концентраций применяются *лабораторные методы*, при этом в месте замера отбираются пробы воздуха для последующего анализа в лабораторных условиях. Как правило, это методы химического анализа, спектрометрические, радиофизические и другие, требующие сложного оборудования и достаточно длительного времени.

При необходимости оперативного определения концентраций вредных веществ используются менее точные *методы экспресс-анализа*, позволяющие определять отдельные виды примесей в воздухе рабочей зоны непосредственно на рабочих местах. Для этого используются переносные приборы различных принципов действия: кондуктометрические – использующие свойство измеряемых примесей при определенных условиях изменять электрическое сопротивление проводников, оптические (интерферометрические), химические и др.

Для оперативного выявления в воздухе наиболее опасных веществ применяют *индикационные методы*, позволяющие определять присутствие вредных газов (паров), без измерения их концентрации. Наиболее распространенный из индикационных методов основан на способности некоторых химических реактивов менять окраску под действием ничтожных концентраций вполне определенных веществ или соединений. Этим ме-

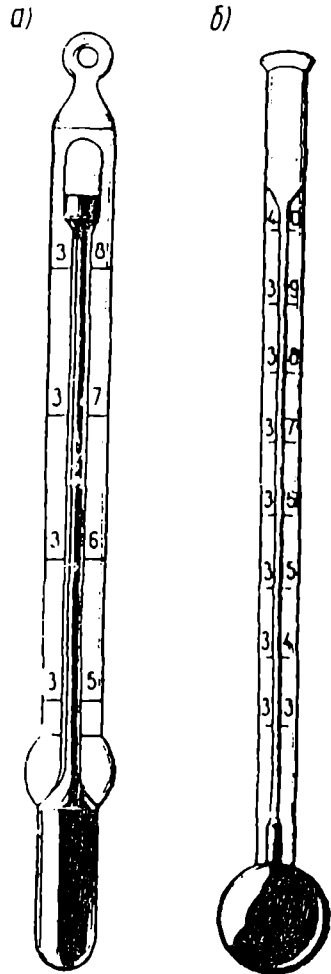


Рис. 2.19. Кататермометры
а – цилиндрический; б – капсульный

тодом определяют содержание паров бензола, толуола, бензина, аммиака, хлора, окислов азота, сероводорода и этилового спирта.

Основным методом оценки запыленности воздуха является определение содержания пыли в сочетании с определением размеров ее частиц (дисперсности пыли). Массу пыли, находящейся в единице объема воздуха, определяют *весовым (гравитационным)* методом. Для этого известный объем исследуемого воздуха пропускают через фильтр. Разница в массе фильтра до и после протягивания воздуха характеризует содержание пыли в его объеме, масса осевшей на фильтре пыли определяется путем взвешивания фильтра. Для определения запыленности используются также приборы радиационного контроля, основанные на измерении степени ослабления ионизирующего излучения при прохождении через фильтрующую ленту, на которой осаждается пыль из протягиваемой пробы исследуемого воздуха.

Дисперсность пыли определяют *счетным* методом. Для подсчета числа пылевых частиц различных фракций в единице объема воздуха служат специальные приборы, называемые счетчиками пыли.

Для экспресс-анализа запыленности используются *фотоэлектрические* пылемеры, основанные на явлении изменения фототока при изменении оптической плотности воздушной среды, содержащей витающую пыль.

Выявление дисперсного состава пыли является легкой задачей. В настоящее время применяют следующие способы дисперсного анализа пыли:

- индивидуальное изучение пыли – микроскопической и ультрамикроскопической и анализ методом прямого и косвенного измерения частиц крупнее 0,2–0,3 мкм; для этого применяют *счетный* метод, используя для подсчета числа пылевых частиц

различных фракций в единице объема воздуха специальные приборы, называемые счетчиком пыли.

- механическое разделение частиц; способ основан на принципе механической сортировки частиц данной пробы по их крупности с помощью сит и фильтров, имеющих отверстия определенной величины, и применяется для определения содержания пыли крупнее 50–60 мкм;
- седиментация; способ основан на принципе различной скорости падения частиц крупностью от 1 до 100 мкм в спокойной, обычно жидкой среде;
- динамический способ, основанный на принципе различных скоростей падения (витания) частиц размерами от 2 до 10 мкм и др.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

3.1. Классификация воздушных струй

Вентиляция помещений представляет собой процесс переноса объемов воздуха, поступающего из приточных отверстий и удаляемого всасывающими отверстиями. Характер воздушных потоков зависит от формы и количества приточных отверстий, их расположения, а также температуры и скорости, с которыми воздух поступает в помещения.

На характер распространения воздушных потоков оказывают влияние работа технологического оборудования, сопровождающаяся возникновением конвективных потоков нагретого воздуха, и конструктивные элементы здания. Задача специалиста, проектирующего вентиляционные устройства, учесть характер движения воздушных масс в помещении, с тем чтобы в пределах рабочей зоны были обеспечены удовлетворительные параметры микроклимата и состава воздуха.

Организация воздухообмена в значительной степени зависит от характера воздушных струй в помещении.

Воздушной струей называют направленный поток с конечными поперечными размерами. Струи делятся на свободные и несвободные, изотермические и неизотермические, ламинарные и турбулентные.

Свободные струи не имеют препятствий для своего свободного развития. Свободной является струя, не ограниченная стенками. Свободные струи образуются при истечении в пространство, заполненное той же средой, находящейся в относительно спокойном состоянии. Так как струи воздуха движутся в воздушной же среде, с точки зрения гидравлики они являются затопленными.

Если плотность струи и окружающего воздуха одинакова, то ось струи прямолинейна. При различной плотности ось струи искривляется.

Несвободные (ограниченные и полуограниченные) струи – те, на развитие и аэродинамическую структуру которых оказывают влияние ограждения. Эти струи распространяются в пространстве, имеющем конечные размеры.

В *изотермических струях* начальная температура равна температуре окружающего воздуха, то есть в этом случае струя не участвует в теплообмене с окружающей средой. В *неизотермических струях* начальная температура приточного воздуха выше или ниже температуры окружающего воздуха.

Ламинарная или турбулентная струя характеризуется соответственно ламинарным или турбулентным режимом движения воздуха.

В вентиляционных устройствах, как правило, применяют турбулентные воздушные струи.

На перемещение воздуха затрачивается энергия: тепловая, источником которой являются нагретые поверхности, или механическая, источником которой можно считать, например, вентилятор, или сочетание тепловой и механической энергий вместе.

Формирование полей температур, концентраций вредных (газов) и скоростей зависит от закономерностей распространения струй и их взаимодействия.

По форме приточного отверстия различают осесимметричные (компактные) приточные струи, вытекающие из круглых или квадратных отверстий (рис. 3.1): плоскопараллельные настилающиеся; осесимметричные; конические веерные (раздельные); настилающиеся; кольцевые; струи, вытекающие через решетки.

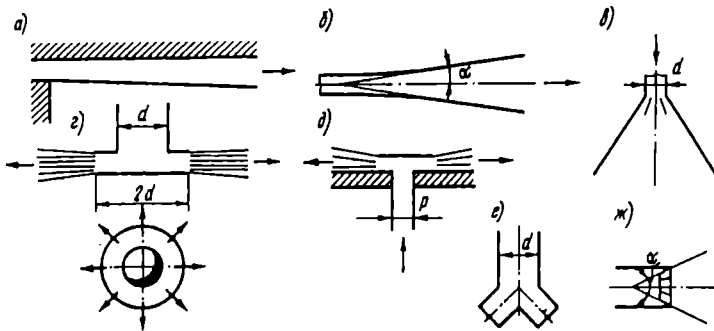


Рис. 3.1. Формы струй: а – плоскопараллельная настилающаяся; б – осесимметричная; в – коническая; г – веерная (радиальная); д – настилающаяся; е – кольцевого сечения; ж – вытекающая через решетку; α – угол принудительного рассеивания

На динамику воздушной среды помещения большое влияние оказывают конвективные токи, возникающие вследствие наличия в помещении различного рода поверхностей, температура которых отлична от температуры окружающего воздуха. Конвективные токи могут быть восходящие и нисходящие. При создании специально организованных искусственных струй конвективные токи воздуха необходимо учитывать.

Плоские приточные струи образуются при истечении воздуха из длинного щелевидного воздухораспределителя. Необходимо отметить, что при соотношении сторон отверстий менее чем 1:3 струя быстро трансформируется в осесимметричную. При соотношении сторон более чем 1:10 струя рассматривается как плоская. Но и в этом случае на большом расстоянии от места их образования струи могут превратиться в осесимметричные.

Стесненные (несвободные) струи могут быть разделены еще на тупиковые, транзитные (сквозные), транзитно-тупиковые. В тупиковых приточный воздух по-

ступает и уходит из помещения через приточные и вытяжные отверстия, расположенные на одной и той же стороне помещения. В транзитных струя поступает в ограничивающее ее пространство с одной стороны, а уходит – с другой; в транзитно-тупиковых воздух выходит из помещения как со стороны его входа, так и с противоположной.

В производственных помещениях получило широкое применение воздухораспределение закрученными струями, создаваемыми специальными воздухораспределительными устройствами. Закрученный приточный факел по своим свойствам отличается от прямоточной осесимметричной струи.

Воздухораспределители с закрученным приточным факелом обеспечивают в рабочей зоне температурные параметры с большой степенью равномерности. Гравитационные силы при используемых скоростях воздуха не преобладают над инерционными, и всплывания нагретых приточных струй, выпущенных даже на высоте $3/4$ высоты помещения, не наблюдалось.

3.2. Основное уравнение вентиляции

Одна из главных задач, возникающих при устройстве вентиляции, – определение вентиляционного обмена.

Воздухообменом называется количество вентиляционного воздуха, необходимое для обеспечения санитарно-гигиенического уровня воздушной среды помещений и одновременно удовлетворяющее технологическим требованиям к воздушной среде производственных помещений.

Необходимый воздухообмен в помещении определяется из основного дифференциального уравнения вентиляции, причем предполагается, что вредные выде-

ления и приточный воздух равномерно распределяются по всему пространству помещения.

$$Zd\tau + Lz_1d\tau - Lz_2d\tau = Vz_2d\tau, \quad (3.1)$$

где Z – количество выделяющейся вредности в течение 1 ч; z_2 – содержание той же вредности в 1 м³ удаленного (вытяжного) из помещения воздуха по истечении промежутка времени τ ; z_1 – содержание вредности в 1 м³ приточного воздуха (допускается, что такое же содержание вредностей будет и в воздухе помещения по окончании работы вентиляции); V – объем помещения, м³; L – количество воздуха, необходимое для борьбы с вредными выделениями; $Zd\tau$ – количество вредностей, выделяющихся в помещении; $Lz_1d\tau$ – количество вредности, вносимой в помещение приточным воздухом; $Lz_2d\tau$ – количество вредности, удаляемой вытяжной вентиляцией; $Vz_2d\tau$ – количество вредности, которое остается в помещении.

Это уравнение выражает закон сохранения массы. Очевидно, что за бесконечно малый промежуток времени $d\tau$ содержание вредности изменится на zdz . В целом же приращение вредности Vdz за тот же промежуток времени может слагаться из вредности в помещении и из той же вредности, поступающей с приточным воздухом.

Выражение (3.1) – дифференциальное уравнение процесса. Предполагая, что z , L , V , z_1 – постоянные величины, после интегрирования получим

$$L = Z/(z_2 - z_1) \quad (3.2)$$

Если в наружном (приточном) воздухе отсутствуют вредности, то есть $z_l=0$, то, подставив значение $z_l=0$ в уравнение (3.2), получим

$$L = Z/z_r. \quad (3.3)$$

Уравнение (3.2) является основным для расчета воздухообмена при установившемся состоянии воздушной среды в помещениях общественных и промышленных зданий.

Под *установившимся состоянием* понимается стабильность во времени выделения и разбавления вредностей, а также равномерность распределения их по помещению.

В помещениях большого объема V возможно начинать вентиляцию не сразу, а после того, как концентрация вредности достигнет допустимого предела z_r , то есть через промежуток времени τ_n (ч),

$$\tau_n = V(z_r - z_0)/Z, \quad (3.4)$$

где z_r – начальная концентрация вредности в помещении, отнесенная к 1 м^3 воздуха; Z – количество выделяющейся вредности.

3.3. Аэродинамический расчет вентиляционных систем

Основные понятия. Аэродинамический расчет систем вентиляции является заключительным этапом проектирования вентиляции: его выполняют, когда уже выявлены и определены количественно расчетные вред-

ности, воздухообмены, запроектированы системы, нанесена на планы трасса воздухопроводов.

Для выполнения расчета строго в масштабе вычерчивают аксонометрические схемы систем вентиляции. Расчет заключается в определении размеров сечений участков системы (воздуховодов, вентиляционных и распределительных устройств) и гидравлических потерь (потерь давления) в этих участках при перемещении заданного количества воздуха.

В процессе эксплуатации вентиляционных установок может возникнуть необходимость решения обратной задачи – определить распределение воздуха по ветвям (или группе ветвей) в связи с реконструкцией (например, по причине изменения технологии производства) системы вентиляции. В таких случаях, когда в старой системе добавляются новые участки, их включение в сеть неизменно вызывает перераспределение воздушных потоков.

Аэродинамический расчет вентиляционных систем состоит в определении их аэродинамических параметров, то есть параметров, определяющих взаимодействие сил, возникающих при движении воздуха в сети. Источником движения воздушного потока является разность давлений между точками входа и выхода его в сети.

Величина потерь давления на заданном элементе вентиляционной сети в рудничной вентиляции получила название *депрессии*.

Расчет воздухопроводов связан с понятием о давлениях: статическом, динамическом и полном.

Статическое давление в закрытом резервуаре представляет собой давление на стенки резервуара, причем одинаковое во всех точках внутренней поверхности. При движении воздуха статическое давление по длине

воздуховода (в отличие от закрытого резервуара) будет изменяться. Статическое давление $p_{ст}$ можно рассматривать как потенциальную энергию сжатия 1 м^3 воздуха, равную работе, которую может совершить 1 м^3 воздуха при расширении.

Динамическое давление – кинетическая энергия, отнесенная к 1 м^3 движущегося воздуха, эквивалентна давлению набегающего потока:

$$p_d = \rho v^2 / 2 . \quad (3.5)$$

Динамическое давление не меняется при постоянном сечении трубы и зависит только от скорости и плотности перемещаемого воздуха. Отсюда видно, что при постоянном сечении трубы на преодоление аэродинамических сопротивлений расходуется только статическое давление.

Полное давление представляет собой сумму статического и динамического давлений:

$$p_n = p_{ст} + p_d , \quad (3.6)$$

то есть выражает полный запас энергии движущегося воздуха в рассматриваемом сечении воздуховода. При определенных условиях статическое и динамическое давления могут взаимно преобразовываться одно в другое.

Уравнение неразрывности. При установившемся движении воздуха на некотором участке трубы масса (или расход) не может ни накапливаться, ни убывать в рассматриваемом участке трубы, так как при этом менялись бы давление, плотность и скорость жидкости (воздуха).

Уравнение неразрывности говорит о том, что объем жидкости, притекающей в трубу в единицу времени, должен быть равен объему жидкости, вытекающей

за то же время. Если это условие не соблюдено, то внутри несжимаемой жидкости возникает пустота или разрыв, называемый *кавитацией*.

В уравнении неразрывности критериями для количественного определения материи – жидкости (капельной или газообразной), протекающей в единицу времени, могут служить масса, а в случае несжимаемой жидкости – и объем. Поэтому уравнение неразрывности имеет два вида:

- в общем случае (постоянство массы)

$$\rho_1 F_1 v_1 = \rho_2 F_2 v_2 = m = const, \quad (3.7)$$

где ρ_1, ρ_2 – массовые плотности; F_1, F_2 – площадь первого и второго сечений струи; v_1, v_2 – скорость;

- в случае несжимаемой жидкости (постоянство объемного расхода)

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = u = const, \quad (3.8)$$

где u – полный расход, м³/с.

Расчет воздухопроводов заключается в определении размеров сечений воздухопроводов и потерь давления при движении заданного количества воздуха. Движение воздуха по воздуховодам сопряжено с преодолением сопротивлений трения воздуха о стенки воздухопроводов и местных сопротивлений.

Потери на трение. При движении воздуха по трубам возникают тангенциальные силы, которые можно рассматривать как результат трения частиц (струек) воздуха друг о друга – силы вязкости, стремящиеся затормозить движущиеся частицы жидкости. Потери на трение определяются общей формулой аэродинамики

$$P = c_f S_\delta = c_f S \rho v^2 / 2, \quad (3.9)$$

где c_f – коэффициент сопротивления (величина безразмерная); S – площадь, омываемая воздухом; ρ – плотность воздуха; v – средняя скорость.

Площадь, омываемая воздухом,

$$S = \Pi l,$$

где Π – периметр сечения трубы; l – длина рассматриваемого участка.

При установившемся движении сила сопротивления движению воздуха должна быть равна движущей силе, возникающей от разности давлений, то есть

$$P = (p_1 - p_2)F, \quad (3.10)$$

где F – площадь сечения трубы.

Следовательно, необходимый перепад давления Δp равен

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (c_f \Pi l / F) \cdot (\rho v^2 / 2) = (c_f l / r) \cdot (\rho v^2), \quad (3.11)$$

$$\text{где } r = 2F / \Pi. \quad (3.12)$$

Величина отношения $2F/\Pi$ называется *гидравлическим радиусом* r , который характеризует форму сечения воздуховода.

Формулу (3.10) для расчета воздуховодов круглого сечения диаметром d принято записывать в виде

$$\Delta p = (c_f l / r) \cdot (\rho v^2) = (4 c_f l / d) \cdot (\rho v^2 / 2) = \lambda (l / d) \cdot (\rho v^2 / 2), \quad (3.13)$$

где величина $\lambda = 4c_f$ – коэффициент гидравлического (аэродинамического) сопротивления трения воздуховода (величина безразмерная).

Коэффициент трения определяется по формулам, выявленным в результате экспериментальных исследований.

Таким образом, аэродинамические потери на трение p_τ можно определить следующим выражением:

$$p_\tau = \lambda v^2 \rho / (2d) = Rlv^2, \quad (3.14)$$

где R – аэродинамическое сопротивление трения в трубе длиной $l=1$ м.

В расчетных таблицах и номограммах указываются потери давления на трение R в воздуховоде длиной $l=1$ м.

Коэффициент сопротивления трения (величина безразмерная) $\lambda=f(\text{Re}, K/d)$, где Re – критерий Рейнольдса; K – абсолютная высота выступов шероховатости внутренних сторон воздуховода; d – диаметр воздуховода. Следовательно, потери давления на трение зависят от шероховатости стенок воздухопроводов. Абсолютную шероховатость стенок воздухопроводов K (мм) принимают равной: для каналов из листовой стали – 0,1; для кирпичных каналов (каналы в стенах) – 5-10.

Справочные таблицы для расчета воздухопроводов выполнены для определения потерь давления при движении воздуха в металлических круглых воздуховодах ($K=0,1$ мм). Поэтому при расчете воздухопроводов с шероховатостью, отличающейся от предусмотренной в справочных таблицах или номограммах, следует делать поправку к табличному значению удельных потерь давления на трение:

$$R_w = R\beta, \quad (3.15)$$

где β – коэффициент, учитывающий шероховатость стенок; $\beta = (Kv)^{0,25}$, v – скорость воздуха в воздуховоде.

Потери на местные сопротивления. Местные сопротивления возникают при изменении направления и скорости движения воздуха (повороты каналов, изменения скоростей или резкие изменения сечений каналов, тройники, крестовины, задвижки и т.д.). Коэффициенты местного сопротивления зависят, как и коэффициент трения, от числа Re , геометрических параметров рассчитываемого элемента (участка), а также от некоторых факторов движения: вихреобразования, интенсивности перемешивания потока в местах изменения конфигурации воздуховода или при обтекании препятствий. Эти явления усиливают обмен количеством движения между частицами движущейся среды.

К местным потерям относят и потерю динамического (скоростного) давления при выходе воздуха в атмосферу.

На преодоление местных сопротивлений тратится значительная часть общей мощности, подводимой к вентиляторам, присоединенным к воздуховодам. Поэтому при проектировании сети воздухопроводов необходимо обращать внимание на всемерное уменьшение местных сопротивлений, для этого следует переходы от одного диаметра к другому делать плавными, колена выполнять с радиусом не менее $2d$, не применять прямых колен, ответвления выполнять под острыми углами (порядка $15-20^\circ$), на поворотах устанавливать направляющие лопатки и т.д.

Методика расчета воздухопроводов в системах с естественным побуждением. В системах вентиляции с естественным побуждением расчет начинают с определения располагаемого давления. Далее по номограмме или расчетным таблицам для определения потерь давления на трение в круглых воздуховодах назначают сечение (диаметр) воздухопроводов (конструктивно или по скорости

движения воздуха), соответственно принятому сечению и заданному количеству воздуха по той же номограмме или таблицам определяют гидравлические потери на преодоление сил трения. По участкам вентиляционной сети определяют гидравлические потери на местные сопротивления. Затем выявляют суммарные фактические гидравлические потери на всех участках, входящих в расчетную ветвь. При этом фактические гидравлические потери p_f не должны превышать располагаемого давления p .

3.4. Характеристика вентиляционной сети

Аэродинамический расчет вентиляционных систем или их отдельных устройств позволяет выявить гидравлические (аэродинамические) характеристики элементов вентиляционной сети при перемещении через эти устройства воздуха. Под *характеристикой сети* или ее элемента понимается график зависимости полных потерь давления от расхода воздуха, проходящего через сеть или данный элемент. Формула, описывающая эту зависимость, называется *законом сопротивления*.

Закон сопротивления для различных типов течений установлен экспериментально. При турбулентном движении воздуха он описывается квадратичной зависимостью потерь давления от расхода воздуха. При ламинарном движении (с малыми скоростями) эта зависимость носит линейный характер. Для фильтрационных течений наиболее характерны промежуточные законы, которые выражаются в степенной или многочленной форме.

Для равномерного перемешивания загрязняющих примесей в вентиляционном потоке скорость движения воздуха должна обеспечивать турбулентный режим его

движения. В этом случае закон сопротивления описывается уравнением

$$p = RL^2, \quad (3.16)$$

где p – полная потеря давления в сети; R – аэродинамическое сопротивление данной сети; L – расход воздуха, перемещаемого в сети, м³/ч.

Графически характеристика сети представляется квадратичной параболой, для построения которой определяем

$$R = p/L^2. \quad (3.17)$$

Задаваясь значениями L , вычисляют соответствующие p , и по полученным точкам строится график – квадратичная парабола.

3.5. Характеристика вентилятора

Напорной характеристикой вентилятора называется график зависимости потерь статического давления (депрессии) от его дебита (расхода воздуха). Зависимости, связывающие дебит вентилятора, его депрессию, а также мощность с частотой вращения рабочего колеса и его диаметром, называются *законами работы вентиляторов*.

На рис. 3.2 показаны характеристики основных типов вентиляторов.

Полная энергия, отдаваемая вентилятором потоку, расходуется на преодоление сопротивления движения воздуха в сети или на участке воздуховода и на создание динамического напора на выходе потока в атмосферу; часть ее затрачивается на потери давления в самом вентиляторе (внутренние потери давления или депрессия вентилятора). Как уже отмечалось выше, на движение воздуха в сети затрачивается только статическая депрессия, характеризующая потенциальную энер-

гию потока. Кинетическая энергия, обеспечивающая динамический напор вентилятора, рассеивается в атмосфере. Полная депрессия вентилятора так же, как и статическая, не зависит от места расположения вентилятора в воздухопроводе и имеет одинаковые значения как при работе вентилятора на всасывание, так и на нагнетание. Поэтому характеристики вентилятора одни и те же независимо от способа проветривания.

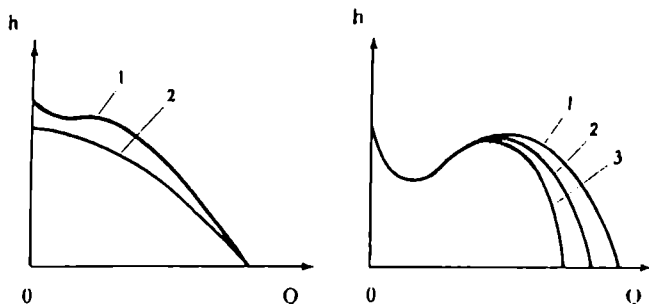


Рис. 3.2. Характеристики вентиляторов: *a* – центробежного вентилятора с лопатками, загнутыми вперед (1) и назад (2); *б* – осевого вентилятора при разных углах поворота лопаток

Подбор вентилятора для работы на воздухопровод с заданными параметрами заключается в том, что на характеристику вентилятора, построенную в координатах pL , накладывается построенная в тех же координатах и в том же масштабе характеристика сети. Точка пересечения двух кривых (рабочая точка) определит давление и производительность этого вентилятора при работе в данной сети.

3.6. Методы расчета требуемых расходов воздуха

Основными вредностями в помещении являются избыточная теплота, избыточная влага или одновременно избыточная теплота и избыточная влага, газы, пыль. При одновременном выделении в помещении различных вредностей воздухообмен определяют из условия ассимиляции каждой вредности. *Расчетной вредностью* является та, расчет по которой дает наибольшую величину воздухообмена.

Ориентировочно расчет воздухообмена L в помещении может осуществляться по кратности (K):

$$L = KV. \quad (3.18)$$

Это также делают в случаях, когда точное определение количества выделяющейся вредности затруднительно.

Определение воздухообмена по любому виду расчетных вредностей следует завершать нахождением значения кратности воздухообмена как критерия, характеризующего величину вентиляционного обмена. Эта величина показывает, сколько раз в течение часа весь объем помещения заполняется поступающим в помещение воздухом.

Определение воздухообмена из условия удаления из помещения газов. Требуемый воздухообмен определяется из основного уравнения вентиляции:

$$L = G/(z_2 - z_1), \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.19)$$

где G – количество газа (по борьбе с которым ведется расчет), выделяющееся в помещении, г/ч;
 z_2 – допустимая по нормам концентрация газа,

мг/м³; z_1 – концентрация газа в наружном воздухе, мг/ м³.

Определение воздухообмена по выделению углекислоты CO₂. Воздухообмен определяется по формуле

$$L = G/(x_2 - x_1), \text{ м}^3/\text{ч} , \quad (3.20)$$

где G – количество углекислоты, выделяющейся в помещении, г/ч или л/ч; x_1 – концентрация CO₂ в наружном (приточном) воздухе; x_2 – допустимая концентрация CO₂ в воздухе помещения.

CO₂ является одним из основных видов вредных веществ, выделяющихся в жилых и общественных зданиях. Количество выделяемой человеком углекислоты зависит от ряда факторов: возраста людей, характера выполняемой ими работы (табл. 3.1-3.3).

Таблица 3.1
Количество CO₂, выделяемое людьми

Категории людей	CO ₂ , г/ч	CO ₂ , л/ч
Взрослыми:		
при физической работе тяжелой	68	45
при физической работе легкой	45	30
в состоянии покоя	35	23
Детьми до 12 лет	18	12

Пример 3.1. Определить воздухообмен L для зала собраний на 200 человек из условия борьбы с CO₂ при следующих данных: количество CO₂, выделяемое одним человеком, – 23 л/ч, допустимое содержание CO₂ в помещении $x_2 = 2$ л/м³; $x_1 = 0,6$ л/м³.

Таблица 3.2

Допустимые концентрации CO₂ в помещениях

Назначение помещений	CO ₂ , г/м ³	CO ₂ , л/м ³
Для постоянного пребывания людей		
жилые дома	1,5	1,0
больницы	1,0	0,7
Для периодического пребывания людей		
учреждения	1,75	1,25
Для кратковременного пребывания людей	3,0	2,0

Таблица 3.3

Концентрация CO₂ в наружном воздухе

Тип местности	CO ₂ , г/м ³	CO ₂ , л/м ³
для сельской местности	0,6	0,40
для поселков	0,7	0,47
для городов	0,9	0,60

Решение. Применим формулу (3.2):

$$L = 200G/(x_2 - x_1) = 200 \cdot 23 / (2 - 0,6) = 3290 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 3.2. В помещении для кратковременного пребывания людей собралось 60 человек. Объем помещения $V=1000 \text{ м}^3$. Определить, через сколько времени τ после начала собрания нужно включить приточно-вытяжную вентиляцию при следующих данных: количество CO₂, выделяемое человеком, допустимое и начальное его содержание те же, что и в примере 3.1.

Решение. Количество CO₂, выделяющееся в помещении,

$$G = 50 \cdot 23 = 1150 \text{ л/ч}.$$

По формуле (3.4)

$$\tau = V(x_2 - x_1)/G = 1000(2 - 0,6)/1150 = 1,21 \text{ ч},$$

то есть вентиляцию можно включить в работу через 73 мин (1,21 ч) после начала собрания.

Определение воздухообмена по пыли производится с учетом запыленности поступающего и уходящего воздуха:

$$L = G_{\text{п}} / (s_2 - s_1), \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.21)$$

где $G_{\text{п}}$ – масса попадающей пыли в помещение, мг/ч; s_2 – допустимая концентрация пыли, мг/м³; s_1 – концентрация пыли в наружном воздухе, мг/м³.

При отсутствии в наружном воздухе газа и пыли получим соответственно

$$L = G / s_2. \quad (3.22)$$

Определение воздухообмена по влажности осуществляется исходя из условия удаления влагоизбытков по известным значениям влагосодержания:

$$G = n G_{\text{в.п.}} / (d_2 - d_1), \text{ кг/ч}, \quad (3.23)$$

где n – коэффициент, учитывающий долю влаги, поступающей в рабочую зону (при отсутствии опытных данных принимают $n=1$); $G_{\text{в.п.}}$ – количество влаги, испаряющейся в помещении, подлежащее удалению, г/ч; d_2 – влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения, г/кг сух. воздуха; d_1 – влагосодержание приточного воздуха, г/кг сух. воздуха.

Значение коэффициента n зависит, в частности, от размещения источников выделения влаги, их размеров, способов локализации источников выделения влаги, расположения уровня подачи приточного воздуха и др. Для каждого производства коэффициент n имеет практически постоянное значение.

Определение воздухообмена из условия удаления из помещения избыточной теплоты. При выделении в помещении избыточной явной теплоты воздухообмен рассчитывается по формуле

$$G = mQ_{изб} [c(t_{yx} - t_{np})], \text{ кг/ч,} \quad (3.24)$$

где m – коэффициент, учитывающий долю теплоты, поступающей в рабочую зону (при отсутствии опытных данных принимаем $m=1$); $Q_{изб}$ – избыточная явная теплота, отводимая из помещения вентиляцией; c – удельная массовая теплоемкость воздуха, равная 1,005 кДж/(кг·К); t_{yx} – температура воздуха, уходящего в приемные отверстия вытяжной вентиляции; t_{np} – температура приточного воздуха, поступающего в помещение;

$$Q_{изб} = Q_{выд} - Q_{тепл.пот.}, \quad (3.25)$$

где $Q_{выд}$ – количество тепловыделений от людей, электродвигателей и оборудования, производственных печей, горячих поверхностей и др., Вт; $Q_{тепл.пот.}$ – количество теплоты, теряемой наружными ограждениями (в холодное время года), теплопотери на нагрев поступивших в помещение холодных материалов; теплота, отводимая с воздухом через местные отсосы, и др.

Из выражения (3.24) видно, что при равных $Q_{изб}$ воздухообмен уменьшается с увеличением t_{yx} . Температура воздуха, уходящего из помещения (°С),

$$t_{yx} = t_{p,z} + \psi(H - 2), \quad (3.26)$$

где $t_{p,z}$ – температура воздуха в рабочей зоне (на высоте 2 м от пола); ψ – изменение температуры по высоте помещения (температурный градиент, выражающийся в градусах на 1 м высоты); принимается, как правило, на основании проведенных ранее натурных измерений (для промышленных цехов $\psi=0,5-1,5$; для помещений высотой

до 4 м увеличение температуры по высоте практически можно не учитывать); H – вертикальное расстояние от пола до середины вытяжного отверстия, м; 2 – высота рабочей зоны, м.

Температура уходящего воздуха t_{yx} зависит от многих факторов, в частности от отношения площади, занятой теплоотдающим оборудованием, к площади пола цеха, высоты помещения, способа организации воздухообмена «снизу вверх» (то есть при подаче приточного воздуха в рабочую зону и удалении из верхней зоны), или «сверху вниз», или «сверху вверх» (то есть при подаче воздуха в верхнюю зону и удалении из верхней или нижней зоны помещения); в последнем случае температурный градиент равен 0, то есть $t_{yx} = t_{p.z}$ (температура рабочей зоны). Следует иметь в виду, что на нагревание воздуха в рабочей зоне расходуется не вся величина $Q_{изб}$, часть теплоты (особенно конвективной) удаляется из рабочей зоны естественным путем и незначительно влияет на ее температуру. Сказанное учитывается коэффициентом m (см. табл. 2.1, формула 2.3).

При размещении вытяжных отверстий в рабочей зоне воздухообмен при наличии теплоизбытков можно определить по формуле (кг/ч)

$$G = Q_{изб.p.z} \cdot m / [c(t_{p.z} - t_{np})], \quad (3.27)$$

где $Q_{изб.p.z}$ – теплоизбытки в пределах рабочей зоны; $t_{p.z}$ – температура воздуха в рабочей зоне; t_{np} – температура приточного воздуха.

При наличии местных отсосов воздухообмен определяется по формуле

$$G = (Q_{изб} - Q_{м.о}) / [c(t_{p.z} - t_{np})] + G_{м.о}, \quad (3.28)$$

где $G_{м.о}$ – количество теплоты, уносимой устройствами местной вентиляции;

$$Q_{м.о} = c(t_{р.з} - t_{пр})G_{м.о}, \quad (3.29)$$

$G_{м.о}$ – количество воздуха, удаляемого местной вентиляцией; c – массовая теплоемкость воздуха.

3.7. Определение расчетного количества вредностей, поступающих в помещение

Определение тепlopоступлений. Основным источником поступлений теплоты в общественных зданиях являются люди, а в производственных помещениях, кроме того, теплота выделяется в результате перехода механической энергии в тепловую; от нагретого оборудования – печей, остывающих нагретых предметов, от источников искусственного освещения, от продуктов сгорания, от солнечной радиации.

Тепловыделение от людей. Как правило, оно рассматривается одновременно с влаговыделением. Человек выделяет явную теплоту и влагу в результате жизнедеятельности организма; выделениями теплоты и влаги осуществляется необходимая для жизни терморегуляция организма. Выделяя (путем испарения) влагу, человек тоже теряет теплоту. Эта теплота называется *скрытой* (теплосодержанием пара). Количество теплоты, выделяемой человеком, показано на рис. 3.3.

Сплошными кривыми на левой шкале дано полное выделение теплоты. Пунктирными линиями обозначено количество теплоты, идущей на испарение влаги, теряемой человеком (скрытая теплота). Разностью между количеством полной и скрытой теплоты определяется количество явной теплоты, выделяемой человеком в окружающую среду.

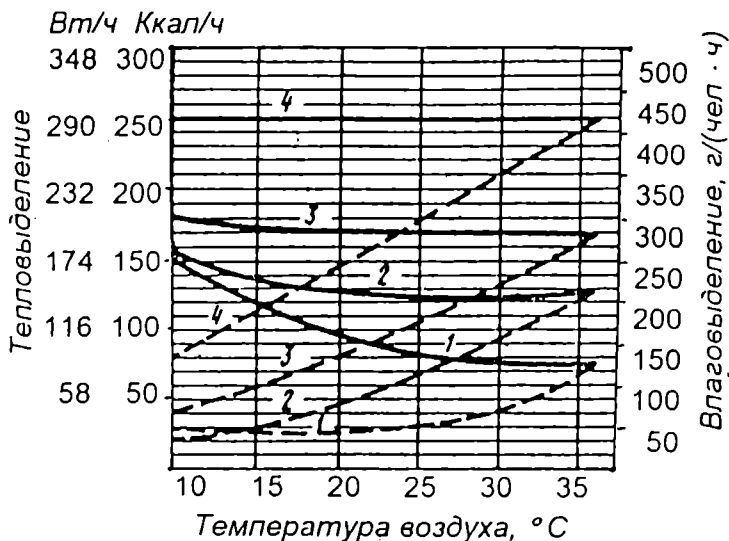


Рис. 3.3. График тепловлажновыделений человеком в зависимости от температуры помещения: 1 – человек в покое; 2 – легкая работа в учреждении; 3 – физическая работа; 4 – тяжелая физическая работа; ———— – полное количество тепла; - - - - - – тепло, идущее на испарение влаги

Как видно из рис. 3.3, интенсивность тепловлажновыделений человеком зависит от температуры помещения и от характера выполняемой им работы.

Пример 3.3. Определить выделение теплоты и влаги человеком, выполняющим физическую работу в помещении с температурой воздуха $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение. По левой шкале сплошной кривой 3 (рис. 3.3) находим величину полного тепловыделения $q_n = 200\text{ Вт}$. На пунктирной кривой 3 по правой шкале находим влаговыведение – 145 г/ч; по левой шкале определяем количество теплоты, идущей на испарение влаги, – 98 Вт; тогда количество явной теплоты, поступающей от человека в помещение,

$$q_n = 200 - 98 = 102\text{ Вт.}$$

Теплопоступления от электродвигателей и от оборудования, приводимого в действие электродвигателями. Здесь возможны различные варианты охлаждения, поэтому используются разные расчетные формулы.

Теплопоступление от электродвигателей, не имеющих принудительного охлаждения, с отводом теплоты за пределы помещения (Вт):

$$Q = 1000NK_1K_2(1-\eta_1)/\eta_1, \quad (3.30)$$

где N – установочная, или номинальная, мощность электродвигателя, кВт; K_1 – коэффициент загрузки электродвигателей ($K_1=0,7\div 0,9$); K_2 – коэффициент одновременности работы электродвигателей ($K_2=0,5\div 1$); η_1 – КПД электродвигателя при данной нагрузке.

КПД электродвигателя при данной нагрузке

$$\eta_1 K_n = \eta, \quad (3.31)$$

где K_n – поправочный коэффициент, учитывающий загрузку двигателя; η_1 – КПД электродвигателя при полной нагрузке, определяемый по каталогу ($\eta = 0,75-0,92$). Величина K_n принимается в зависимости от K_1 (табл.3.4).

Таблица 3.4

Поправочный коэффициент K_n

K_1	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3
K_n	1,0	0,99	0,97	0,95	0,91

Тепловыделение от оборудования, приводимого в действие электродвигателями, определяется следующим образом:

$$Q = 1000NK_1K_2K_3, \quad (3.32)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий отношение количества энергии, переходящей непосредственно в теплоту, к общему фактическому расходу энергии; принимается по опытным данным, учитывающим, что часть теплоты может быть отдана охлаждающей эмульсии, уносимой из помещения ($K_3=0,1-1,0$).

Тепловыделения от установленных в общем помещении электродвигателей и приводимого ими в движение оборудования:

$$Q = 1000K_1K_2(1/\eta - 1 + K_3). \quad (3.33)$$

Для определения тепловыделений в механических и механосборочных цехах ориентировочно принимают количество теплоты, поступающей от работающих станков:

$$Q = 1000N \cdot 0,25. \quad (3.34)$$

Определение количества выделяющихся вредных веществ. Для действующих предприятий определение количества вредных выделений осуществляется путем экспериментальных исследований. Для случаев, когда фактический воздухообмен достаточен для создания в рабочей зоне условий, требуемых санитарными нормами, эти исследования могут дать представление о характере распределения температур и концентрации выделений в виде коэффициентов распределения температур m и распределения концентраций газов или паров m_2 :

$$m = (t_{p,z} - t_n) / (t_{yx} - t_n), \quad (3.35)$$

$$m_2 = (q_{p,z} - q_n) / (q_{yx} - q_n), \quad (3.36)$$

где $t_{p,z}$ и $q_{p,z}$ – температура и концентрация выделений в рабочей зоне; t_{yx} и q_{yx} – то же в уходящем воздухе; t_n и q_n – то же в приточном воздухе.

При выполнении испытаний и обработке их результатов, сведенных в теплогазовоздушные балансы, значения m и m_2 , а также данные об удельных величинах выделяющихся вредностей могут быть в дальнейшем использованы для проектирования.

При проектировании вентиляции для вновь строящихся предприятий выделение вредных веществ рассчитывается по утвержденным отраслевым методикам, являющимся нормативными документами, или по СНиПам.

Определение воздухообменов во взрывоопасных помещениях при наличии газов и паров, образующих с воздухом взрывчатые смеси. При смешивании некоторых газов и паров с воздухом могут возникнуть горючие смеси, которые при подводе теплоты (электрическая искра, пламя спички или свечи) могут взорваться. Особенностью взрывоопасных смесей является наличие для них двух пределов взрывоопасных концентраций – нижнего и верхнего (табл. 3.5). Нижним является предел концентрации газов и паров, ниже которого взрыв не последует, верхним – предел концентрации вещества, выше которого взрыв также не последует из-за недостатка кислорода, необходимого для реакции взрыва.

При расчете воздухообмена для щелочных аккумуляторов в качестве расчетной вредности принимается водород, выделяющийся при зарядке и работе аккумуляторов. При кислотных аккумуляторах вредностью являются выделяющиеся пузырьки серной кислоты, заполненные водородом. Вентиляция аккумуляторных устраивается с преобладанием вытяжки над притоком. Воздух удаляется из верхней и нижней зон в связи с неравномерным распределением вредных выделений. Вытяжные вентиляторы и электродвигатели к ним применяют во взрывоопасном исполнении, исключаящем об-

разование искр при работе вентиляционных агрегатов, и размещаются, как правило, за пределами аккумуляторного помещения.

Таблица 3.5

Пределы взрывоопасных концентраций

Наименование газов	Пределы взрывоопасных концентраций			
	нижний	верхний	нижний	верхний
	по объему, %		по массе, мг/л	
Аммиак	16	27	111,2	187,65
Бензол	1,4	7	49,66	223,3
Бензин	2,4	4,9	137	281
Водород	4,1	74	3,362	60,68
Метан	5,3	14	34,45	91
Оксись углерода	12,5	74	142,5	843,6
Этиловый спирт	4,0	19	75,2	351,2
Этиловый эфир	1,7	26	21,51	787,8

Воздухообмен в операторных помещениях аккумуляторных принимается не менее, чем восьмикратный.

Для определения взрываемости газоздушных смесей нескольких горючих газов применяют формулу Ле Шателье

$$X_{см} = 100 / (n_1/x_1 + n_2/x_2 + n_3/x_3 + \dots + n_n/x_n) , \quad (3.37)$$

где $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ – соответственно содержание отдельных газов в смеси, % по объему; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – пределы взрываемости составных частей смеси, % по объему.

Концентрация газов с точки зрения взрывобезопасности не должна превышать 30 % (по объему) нижнего предела взрываемости.

4. ИНЖЕНЕРНЫЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА

4.1. Проветривание помещений

Вентиляторы. Вентилятором называется воздушная машина, создающая разность давлений, под действием которой происходит движение воздуха в вентиляционной системе. Условно считается, что под действием вентиляторов воздух практически не сжимается, поэтому к этому классу относят машины, обеспечивающие разность давлений до 10 000 Па, то есть степень сжатия (отношение давления воздуха на выходе из машины к давлению на ее входе) до 1,1. Машины, создающие большую разность давлений, называются *нагнетателями* (степень сжатия от 1 до 2) и *компрессорами* (степень сжатия более 2). Вследствие незначительной степени сжатия воздуха вентиляторами (изменение объема не превышает 7 %) объемные расходы воздуха на входе и на выходе вентилятора можно считать равными.

Вентилятор передает энергию вращающегося рабочего колеса воздуху, в результате их механического взаимодействия рабочее колесо оказывает давление на воздух, что приводит к увеличению статического давления сразу за колесом, а также ускоряет движение потока воздуха, то есть увеличивает его кинетическую энергию. За рабочим колесом поток расширяется, его кинетическая энергия снова переходит в потенциальную и происходит дальнейшее увеличение статического давления в потоке.

Перед рабочим колесом вентилятора в результате его увлекающего действия происходит падение давления. Таким образом, при работе вентилятора перед ним

образуется зона пониженного давления, а за ним – зона повышенного давления. Движение воздушного потока происходит от зоны низкого давления со стороны всаса к зоне высокого давления со стороны нагнетания вследствие воздействия рабочего колеса на воздух.

Существуют два типа вентиляторов, различающихся по конструкции и принципу действия: *центробежные* (типа ВЦ, ВЦД, ВРЦД и др.) и *осевые* (ВОД, ВОК, ВОКД, ВОКР и др.).

Центробежный вентилятор (рис. 4.1, а) состоит из рабочего колеса 1 с лопатками 2, вращающегося вокруг оси 3 в спиральном кожухе 4. Воздух поступает в вентилятор через всасывающее боковое отверстие 5, в котором расположен направляющий аппарат, изменяющий направления движения воздуха на радиальное. В рабочем колесе воздух проходит между лопатками, закручиваясь в направлении их движения, и выбрасывается в спиральный кожух, двигаясь в котором расширяется по мере расширения кожуха. Из вентилятора воздух выбрасывается через нагнетательное отверстие 6. Движение воздуха от нижней кромки лопаток к верхней осуществляется под действием центробежной силы, возникающей при вращении воздуха.

Осевой вентилятор (рис. 4.1, б) состоит из рабочего колеса 1 с лопатками 2, вращающегося на оси 3, спрямляющего аппарата 4, обтекателя 5 с хвостовиком 6, кожуха 7 с входным коллектором 8 и диффузора 9. Воздух в вентилятор засасывается через входной коллектор, проходит рабочее колесо, спрямляющий аппарат и диффузор. Рабочее колесо представляет собой короткий цилиндр, по поверхности которого расположены лопатки, имеющие обтекаемый профиль, аналогичный профилю крыла самолета. При обтекании лопатки скорость воздуха вдоль ее наружной поверхности больше, чем

вдоль внутренней, то есть статическое давление на наружной стороне лопатки меньше, чем на внутренней, возникающая при этом подъемная сила, действуя на воздушный поток, вызывает увеличение его давления. Величина подъемной силы зависит от угла атаки (угла поворота лопаток относительно набегающего потока). Рабочее колесо осевого вентилятора сообщает потоку вращательное движение, поэтому для спрямления его за рабочим колесом устанавливается спрямляющий аппарат – неподвижное колесо с лопатками, которое гасит вращение, при этом кинетическая энергия вращательного движения переходит в статический напор. После этого воздух попадает в диффузор, где происходит расширение потока и дальнейшее преобразование динамического напора в статический.

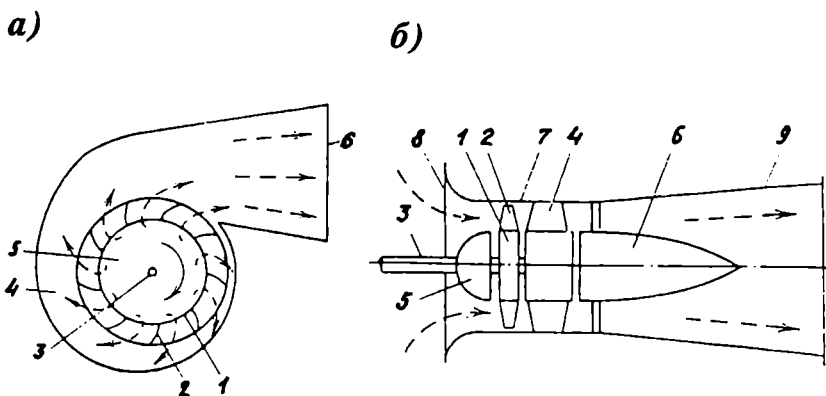


Рис. 4.1. Схема центробежного (а) и осевого (б) вентиляторов: стрелками показано направление движения воздуха

Центробежные вентиляторы проще по устройству, имеют большую прочность, создают меньше шума и обеспечивают значительно более высокую де-

прессию по сравнению с осевыми вентиляторами той же мощности, а также имеют большую глубину регулирования, то есть большую область экономичной работы.

Осевые вентиляторы проще в монтаже, занимают меньше места и при небольших депрессиях (до 2500 Па) более экономичны.

Воздуховоды. Для подачи воздуха к местам его потребления необходимо устройство “пути” – канала для его движения. Искусственные сооружения для перемещения воздуха в заданном направлении называются воздуховодами. В приточных системах вентиляции воздуховоды служат для подачи чистого воздуха к рабочим местам; в вытяжных системах – для сбора загрязненного воздуха в местах выделения вредностей и подачи его к вытяжному вентилятору с последующим выбросом (через очистные устройства или напрямую) в атмосферу. Практически каждая система вентиляции имеет воздуховоды.

В производственных зданиях и помещениях применяют воздуховоды, изготовленные из металла, в административных и общественных – из металла или из строительных конструкций, в жилых – только неметаллические (специальные каналы между стенами).

Наиболее распространенными являются воздуховоды, выполненные в виде труб из тонколистовой стали круглого или прямоугольного сечения. Трубы круглого сечения имеют значительные преимущества по сравнению с прямоугольными: они более прочны при одинаковой толщине металла и менее металлоемки (на их изготовление требуется на 18–20 % меньше металла), кроме того, они более экономичны с точки зрения потерь энергии на проветривание, т.к. обладают меньшим аэродинамическим сопротивлением. Для проветривания произ-

водственных помещений применяются, как правило, воздуховоды именно круглого сечения.

Преимущество прямоугольных воздуховодов заключается в том, что они лучше вписываются в интерьер, поэтому они используются главным образом в административных и общественных зданиях.

Воздухораспределители. Эффективной считается такая система вентиляции, в которой воздух поступает к рабочим местам в требуемом количестве, то есть если в каждой точке вентиляционной сети обеспечиваются требуемые (нормативные) параметры воздушной среды. Для рационального распределения воздуха в сети применяются два типа устройств: *регуляторы* и собственно *воздухораспределители*.

Регуляторы служат для изменения расхода воздуха в отдельных элементах сети. Аналогично электрическим сетям изменение расхода воздуха в любой ветви вентиляционной сети приводит к перераспределению расходов во всей сети в целом.

Воздухораспределители обеспечивают распределение поля скоростей (температур) воздуха в объеме проветриваемого помещения, то есть распределение его в соответствии с расположением и интенсивностью источников выделения загрязняющих примесей, а также с учетом размещения постоянных рабочих мест.

Распределение и регулировка расходов воздуха в сети и по отдельным ветвям в соответствии с потребностью в нем производится с помощью регулирующих устройств (шиберов, дроссель-клапанов, диафрагм). Все эти устройства повышают сопротивление сети (поэтому их называют *отрицательными регуляторами*), вследствие чего увеличиваются потери воздуха через неплотности в соединениях элементов воздуховодов, называемые *утечками*. При установке большого числа отрицательных ре-

гуляторов необходимо учитывать, что КПД вентилятора не должен быть существенно меньше его максимального значения. Общий объем подсосов или утечек (разность между фактической производительностью вентилятора и суммарным объемом воздуха, проходящего через все приточные или вытяжные отверстия) не должен превышать 10% фактической производительности установки.

Для распределения воздуха в объеме помещения может быть использовано большое число конструкций воздухораспределительных устройств, образующих компактные, неполные веерные, полные веерные, плоские, настилающие и другие струи воздуха.

Для распределения воздуха в помещениях небольшого объема (кабинах) наиболее целесообразно применение регулирующих решеток с направляющими жалюзи, позволяющими подавать воздух в любом направлении и регулировать форму и дальность струи, а также перфорированных панелей, имеющих мелкие отверстия (диаметром 2–10 мм), которые обеспечивают равномерное распределение скоростей и температур воздуха в помещении.

При незначительных выделениях вредных веществ в помещениях большого объема или в случае равномерного распределения их источников воздухораспределение может осуществляться устройствами типа ВПП, обеспечивающими приток воздуха в рабочую зону прямоочными струями.

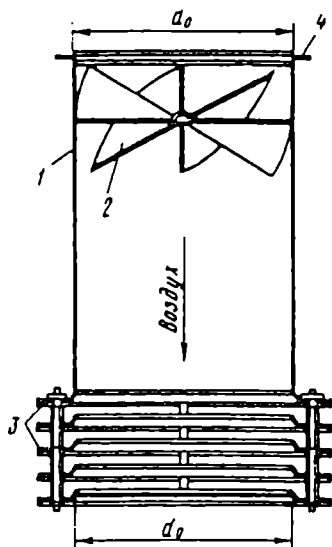


Рис. 4.2. Воздухораспределитель эжекционный пристенный (ВЭП): 1 – патрубок; 2 – закручиватель; 3 – воздухоотклоняющие полки; 4 – соединительный фланец

закручивателем 2, имеющим лопатки, закрепленные под углом 45° , на выходе из патрубка установлены пять воздухоотклоняющих полок 3 с центральным отверстием d_0 . ВЭП монтируют на магистральном воздуховоде в распределительной коробке.

4.2. Отопление и кондиционирование воздуха

Нагревание воздуха. Для нагревания воздуха в системах вентиляции (путем сообщения ему явной теплоты) применяются воздухонагреватели-калориферы. Существуют различные типы калориферов:

Для создания закрученных струй в цехах большого объема используются воздухораспределители специальных конструкций: ВЭС (воздухораспределитель эжекционный для сосредоточенной подачи приточного воздуха), ВПЭП (воздухораспределитель пристенный эжекционный панельный), ВЭП (воздухораспределитель эжекционный пристенный), ВЭЦ (воздухораспределитель эжекционный центробежный). На рис. 4.2 показано устройство воздухораспределителя ВЭП, который представляет собой патрубок 1 с вмонтированным

- *по конструкции* различают кирпичные, из радиаторов, гладкотрубные, ребристые (пластинчатые), спирально-навивные;
- *по виду теплоносителя* – огневые, водяные, паровые, электрические;
- *по типоразмерам* – малой, средней и большой моделей;
- *по движению теплоносителя* – однокходовые и многоходовые.

Огневые калориферы устраиваются из кирпича. Воздух в них нагревается внешней поверхностью кирпичных колодцев, обогреваемых изнутри отходящими дымовыми газами. Их достоинства – почти полное отсутствие металла, незначительное гидравлическое сопротивление проходу воздуха (преимущество для применения воздухонагревателя в приточных системах вентиляции и воздушном отоплении с естественным побуждением). Недостатки – сложны в эксплуатации (необходимость очистки от сажи колодцев-газоходов), пожароопасны. В настоящее время огневые калориферы практически не применяются.

Калориферы из радиаторов. Воздух нагревается во время контакта с внешней поверхностью радиаторов, обогреваемых водой или паром. Достоинство калорифера из радиаторов – небольшое гидравлическое сопротивление проходу нагреваемого воздуха – позволяет применять его в приточных системах с естественным побуждением. Недостаток – металлоемкость, большие габариты.

Калориферы гладкотрубные устраиваются из гладких стальных труб, ввариваемых в коллектор в виде коробок. Применяются при необходимости нагрева относительно небольшого количества воздуха.

Калориферы пластинчатые устраиваются из стальных труб диаметром 15 мм, укрепляемых в две металлические коробки. Пластины калориферов выполнены из листовой стали толщиной 0,5 мм, крепятся к трубам на расстоянии 5 мм друг от друга.

Кроме пластинчатых нашли применение оребренные калориферы, в которых вместо пластин на трубы навивается стальная гофрированная лента.

Преимущество пластинчатых и подобных им калориферов состоит в их компактности (по сравнению с калориферами из радиаторов), высокой тепловой отдаче (количество отдаваемой теплоты, отнесенное к 1 кг металла при разности температур теплоносителя и нагреваемого воздуха в 1 °С). Недостаток – большое гидравлическое сопротивление движению воздуха через калорифер, вследствие чего они, как правило, применяются в системах механической приточной вентиляции.

Получили применение пластинчатые калориферы большой и средней моделей, имеющих соответственно по направлению движения воздуха четыре и три ряда трубок: одноходовые типа КФС, КФБ и многоходовые КВС, КВБ и др. (рис. 4.3). Многоходовые калориферы при использовании пара в качестве теплоносителя не применяются.

Электрические калориферы применяют относительно редко, как правило, для нагревания небольшого количества воздуха. Электрокалорифер состоит из кожуха и нагревательных элементов. Нагревательные элементы – трубки с накатным алюминиевым оребрением для увеличения поверхности нагрева. Трубки установлены внутри кожуха в несколько рядов и разделены на самостоятельные секции, с помощью которых можно регулировать теплоотдачу калорифера.

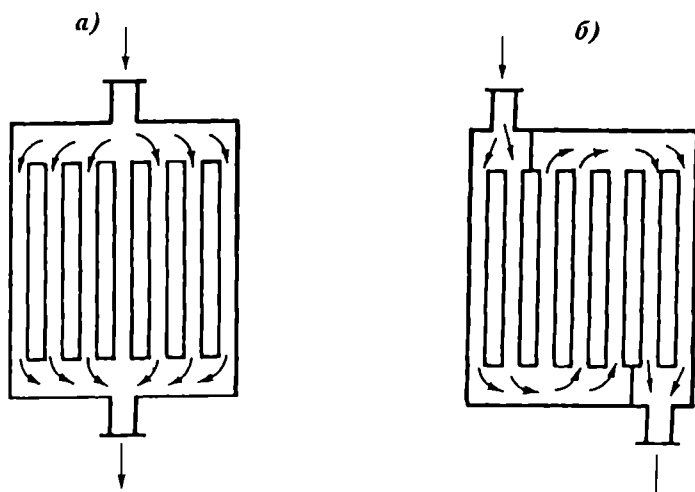


Рис. 4.3. Схемы калориферов по движению теплоносителя: а – одноходовые; б – многоходовые

Расчёт калориферов. Под расчетом калориферов понимается их подбор. Исходные данные для подбора калориферов следующие: количество нагреваемого воздуха, расход теплоты, параметры нагреваемого воздуха и теплоносителя.

Количество нагреваемого воздуха выявляется при определении воздухообмена, необходимого для борьбы с расчетной вредностью, выделяемой в вентилируемом помещении. Расход теплоты определяется по формуле

$$Q = GC(t_2 - t_1), \quad (4.1)$$

где G – количество нагреваемого воздуха; C – массовая теплоемкость воздуха; t_2 – температура воздуха после нагревания (после калорифера); t_1 – температура воздуха до нагревания (до калорифера).

Поверхность нагрева калорифера определяется по формуле

$$F = Q/(K\Delta t), \quad (4.2)$$

где Q – расход теплоты на нагревание воздуха; K – коэффициент теплопередачи калорифера; Δt – среднеарифметическая разность температур между средней температурой теплоносителя и средней температурой нагреваемого воздуха;

$$\Delta t = (T_1 + T_2)/2 - (t_1 + t_2)/2, \quad (4.3)$$

здесь T_1, T_2 – температура воды до и после калорифера; t_1, t_2 – температуры воздуха до и после калорифера.

В практике расчета поверхности нагрева калориферов, как правило, пользуются среднеарифметической разностью температур (4.3). Однако среднеарифметическое значение температурного напора всегда больше среднелогарифмического:

$$\Delta t = [(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)] / \ln \frac{T_2 - t_2}{T_1 - t_1}, \quad (4.4)$$

Если отношение $(T_2 - t_2)/(T_1 - t_1) > 0,6$, то среднеарифметическая и среднелогарифмическая разности обеспечивают почти тождественные результаты (отличие друг от друга меньше чем на 3%). Если отношение $(T_2 - t_2)/(T_1 - t_1) < 0,6$, то расчет калориферов следует производить по среднелогарифмической разности температур.

Коэффициент теплопередачи, несмотря на теоретическую возможность нахождения его с помощью безразмерных критериальных уравнений, определяется опытным путем (с целью большей достоверности) и выражается следующими формулами, записанными в общем виде:

- при обогревании калорифера паром

$$K = f(v\rho),$$

- при обогревании водой

$$K = f(v\rho w),$$

где $v\rho$ – массовая скорость воздуха; w – скорость движения воды по трубкам теплоносителя (определяется по графикам или номограммам).

При увеличении массовой скорости воздуха коэффициент теплопередачи возрастает, калориферная установка делается более

компактной, но при этом увеличиваются гидравлическое сопротивление проходу воздуха через калориферы, мощность электродвигателя на вентиляторе, а следовательно, и стоимость эксплуатации калориферной установки. Поэтому возникает необходимость выявления экономически наиболее выгоднейшей массовой скорости воздуха.

На основании технико-экономических расчетов наиболее выгоднейшая массовая скорость воздуха в калориферах принимается в пределах 4–12 кг/(м²·с). В связи с этим базовой величиной при расчете калориферов является массовая скорость воздуха. Удобство применения именно массовой (а не объемной) скорости состоит в том, что значение ее не зависит от температуры воздуха, то есть масса воздуха, проходящего через 1 м² площади живого сечения калорифера в единицу времени, является величиной постоянной.

Методика подбора (расчета) калориферов:

1. Определяются площадь живого сечения f (м²) калорифера для прохода воздуха:

$$f = G / (3600v\rho), \quad (4.5)$$

где G – количество нагреваемого воздуха, кг/ч; ρ – плотность воздуха, кг/м³; $v\rho$ – массовая скорость воздуха, принимаемая в пределах 4–12 кг/(м²·с).

2. По таблицам характеристик калориферов подбирают калориферы с живым сечением, максимально приближающимся к определенному по формуле (4.5).

3. Определяют по фактическому живому сечению фактическую массовую скорость воздуха:

$$(v\rho)_\phi = G / (3600f_\phi). \quad (4.6)$$

4. Вычисляют фактическую скорость теплоносителя воды в трубках калорифера:

$$w = G_w / (3600 \cdot 1000 f_{mp}), \quad (4.7)$$

где G_w – расход теплоносителя, кг/ч; f_{mp} – живое сечение трубок калориферов, м²,

$$G_y = Q / [C(t_2 - t_o)], \quad (4.8)$$

Q – расход теплоты на нагревание воздуха; t_2 – температура горячей воды в подающей магистрали (до калорифера); t_o – температура обратной воды в магистрали (после калорифера); C – теплоемкость воды.

При определении скорости воды в трубках calorифера следует учесть способ питания теплоносителем (водой) calorиферов: при параллельном присоединении расход теплоты (и теплоносителя) делится на число calorиферов, при последовательном присоединении весь расход теплоносителя проходит через каждый из calorиферов (рис. 4.4).

5. Определяют коэффициент теплопередачи calorиферов K , исходя из фактической массовой скорости воздуха. Определение производят по данным испытаний calorиферов. Зная значения ν и w , можно определить коэффициенты теплопередачи calorифера по соответствующим таблицам (или графикам), составленным для определенного типа calorиферов и помещенным в соответствующих справочниках.

6. По результатам испытания calorиферов определяют гидравлическое сопротивление движению воздуха Δp через calorифер. Данные о сопротивлении calorиферов приводятся в таблицах или графиках справочников.

7. Определяют гидравлические потери в установке при движении теплоносителя, обогревающего calorиферы. Расчет производят аналогично определению потерь давления в трубопроводах систем отопления.

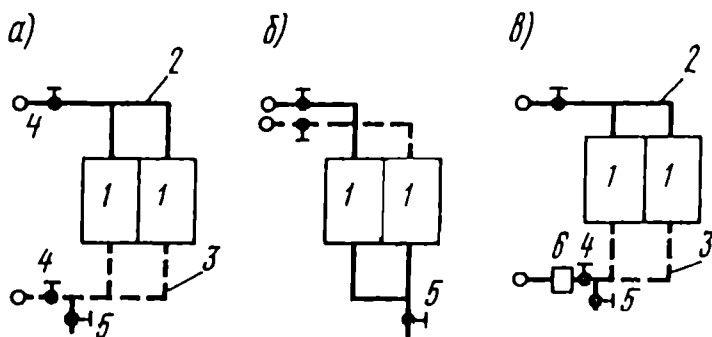


Рис. 4.4. Схемы присоединения трубопроводов к calorиферам: а – параллельное при обогреве водой, б – последовательное при обогреве водой; в – при обогреве calorиферов паром; 1 – calorифер; 2 – подающий трубопровод; 3 – обратный трубопровод; 4 – запорные устройства; 5 – кран для спуска воды; 6 – парозащитатель (при давлении пара 0,03 МПа – гидравлический затвор – V-образная труба; при давлении больше 0,03 МПа – конденсационный горшок)

8. Определяют отношение наименьшей разности температур к наибольшей $(T_2 - t_2) / (T_1 - t_1)$ для решения вопроса, по какой формуле (среднеарифметической $\Delta t'$ или среднелогарифмической $\Delta t''$) следует определять поверхность нагрева калориферов.

9. Вычисляют фактическую теплоотдачу калорифера (калориферной установки):

$$Q_\phi = F_\phi K \Delta t', \quad (4.9)$$

$$Q_\phi = F_\phi K t'', \quad (4.10)$$

где F_ϕ – фактическая поверхность калорифера; K – коэффициент теплопередачи калорифера; $\Delta t'$ – среднеарифметическая разность температур; t'' – среднелогарифмическая разность температур.

При теплоносителе–паре давлением 0,03 МПа принимают $(T_1 + T_2) / 2 = 100^\circ$; при давлении пара более 0,3 МПа температура пара принимается в зависимости от его давления.

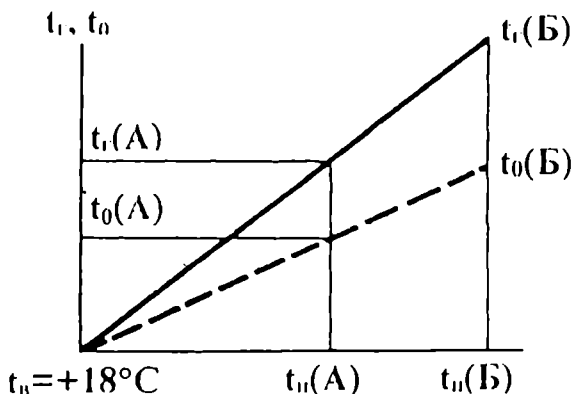


Рис. 4.5. Определение температур теплоносителя t_r , t , при различных наружных температурах воздуха t_n :

— температура теплоносителя в подающей магистрали;

..... – то же, в обратной;

$t_n(A)$ – вентиляционная для общественных зданий;

$t_n(B)$ – отопительная

Фактическая теплоотдача калориферной установки должна быть на 15–20 % больше расчетной Q , то есть $Q_\phi = (1,15 + 1,2)Q$.

При определении гидравлических потерь сопротивление калориферной установки принимают с запасом: по воздуху – 10 %, по теплоносителю–воде – 20 %.

В системах вентиляции общественных зданий, когда температура наружного воздуха принимается для холодного и переходного периода года, температура теплоносителя (воды) принимается для расчета калориферов в соответствии с наружной температурой. Практически температуру теплоносителя при заданной наружной температуре легко найти путем построения графика (рис. 4.5).

Пример 4.1. Подобрать калориферную установку для следующих условий: количество нагреваемого воздуха $G=14000$ кг/ч; расчетная наружная вентиляционная температура $t_1=-15^\circ\text{C}$; температура приточного воздуха $t_2=15^\circ\text{C}$; теплоноситель – вода с параметрами при наружной отопительной температуре $T_1=150^\circ$, $T_2=70^\circ$.

Решение.

1. Определяем расход теплоты на нагревание воздуха по формуле (4.1):

$$Q = 14\,000 \cdot 0,278 [15 - (-15)] = 117\,000 \text{ Вт.}$$

2. Задаваясь массовой скоростью воздуха $\nu\rho=8$ кг/(м²·с), определяем предварительно живое сечение калориферной установки по воздуху:

$$f = 14\,000 / (3600 \cdot 8) = 0,485 \text{ м}^2.$$

3. Пользуясь таблицами для подбора калориферов, выбираем калориферы КФС-6. Параллельная установка двух калориферов по воздуху создаст живое сечение

$$2 \cdot 0,295 = 0,59 \text{ м}^2.$$

4. Определяем массовую скорость воздуха для принятой установки калориферов:

$$(\nu\rho)_\phi = 14000 / (3600 \cdot 2 \cdot 0,295) = 6,6 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}.$$

5. По графику температур теплоносителя в зависимости от t_n находим температуру в подающей и обратной магистралях при расчетной наружной вентиляционной температуре $t_1=-15^\circ$:

$$T_{1(-15^\circ)} = 118^\circ; T_{2(-15^\circ)} = 58^\circ.$$

6. Определяем скорость движения воды в трубах калориферов, пропуская воду последовательно через каждый калорифер:

$$w = 117000 / [3600 \cdot 1000 \cdot 0,0076(118 - 58)1,16] = 0,066 \text{ м/с,}$$

где $f = 0,0076 \text{ м}^2$ – живое сечение прохода воды для калорифера КФС-6 при ее расходе через калорифер.

$$G = 117000 / [1,16 \cdot (118 - 58) \cdot 1000] = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

7. Вычисляем коэффициент теплопередачи калориферов путем интерполирования табличных значений:

$$K = 18,5 \text{ Вт/град.}$$

8. Определяем отношение наименьшей разности температур и наибольшей:

$$(T_2 - t_2) / (T_1 - t_1) = (58 - 15) / [118 - (-15)] = 43 / 133 < 0,6.$$

Следовательно, расчет должен быть отнесен к среднелогарифмической разности температур.

9. Определяем необходимую поверхность нагрева калориферной установки:

$$F = \frac{Q}{[K(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)] / \ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} = \frac{117000}{\{18,5(118 - 15) - [58 - (-15)]\} / \ln \frac{118 - 15}{58 - (-15)}} = 82 \text{ м}^2$$

10. Общее количество устанавливаемых калориферов КФС-6 составит $n = 82 / 25,3 = 3,24$; принимаем 4 калорифера КФС-6.

11. Определяем фактическую поверхность нагрева калориферной установки:

$$F_y = 4 \cdot 25,3 = 101,2 \text{ м}^2.$$

Запас поверхности нагрева калориферной установки

$$\frac{101,2 - 82}{101,2} \cdot 100 = 18,7 \% , \text{ что допустимо.}$$

12. С учетом полученных выше данных принимаем установку четырех калориферов по схеме (рис. 4.6).

13. Определяем сопротивление движению воздуха при $\nu \rho = 6,6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Сопротивление одного вида калориферов по воздуху для модели КФС:

$$p_l = 0,122(\nu \rho)^{1,76} = 0,122 \cdot 6,6^{1,76} \cdot 9,8 = 32,4 \text{ Па.}$$

Для двухрядной установки калориферов

$$p_l = 2 \cdot 32,4 = 64,8 \text{ Па}.$$

14. Определяем сопротивление проходу воды. Сопротивление одного калорифера при $w = 0,066 \text{ м/с}$, определяемое путем интерполирования, составляет

$$p_w = 110 \text{ Па}.$$

15. Сопротивление четырех последовательно соединенных по ходу воды калориферов (рис. 4.6)

$$F_{\Sigma w} = 4p_w + \Sigma(Rl + z) = 440 + \Sigma(R + z),$$

где $(Rl + z)$ – потеря давления в трубопроводе, соединяющем калориферы, которое определяется при расчете трубопроводов, подающих теплоноситель к калориферам (аналогично расчету трубопроводов систем отопления).

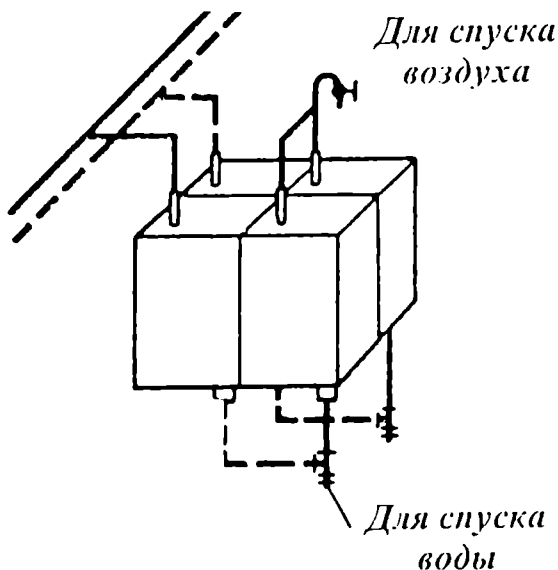


Рис. 4.6. Последовательное присоединение трубопроводов к калориферам при теплоносителе–воде (к примеру расчета калориферов)

Количество калориферов выбирают в зависимости от объема нагреваемого воздуха, степени его нагревания, теплопроизводительности одного калорифера. В случае применения нескольких калориферов их установка

вливают параллельно, при этом воздух поступает одновременно во все калориферы (рис. 4.7, *а*), и последовательно, когда воздух проходит через все калориферы последовательно (рис. 4.7, *б*). Калориферная группа может быть образована и из нескольких параллельных рядов, установленных последовательно (рис. 4.7, *в*). Все калориферы, установленные параллельно и последовательно по направлению воздуха, должны быть одинаковы по типу и размеру.

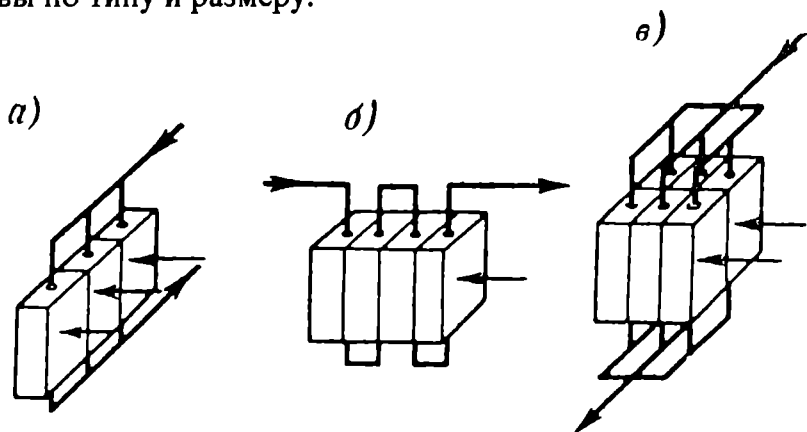


Рис. 4.7. Различные способы включения калориферов: *а* – параллельно по ходу воздуха и по ходу теплоносителя; *б* – то же, последовательно; *в* – две параллельные группы калориферов установлены последовательно по ходу воздуха; по ходу теплоносителя все калориферы присоединены параллельно (запорная арматура не показана)

Способы регулирования систем отопления: изменением температуры теплоносителя, изменением количества теплоносителя, поступающего в калориферы, или совместным изменением температур и количества теплоносителя. Кроме того, для регулирования теплоотдачи и изменения степени нагрева воздуха в калориферной установке предусматривается обводной клапан. С помощью обводного клапана часть наружного (несо-

гретого) воздуха пропускается в обход калорифера с последующим смешиванием его с нагретым. При этом снижение температуры воздуха происходит также вследствие уменьшения коэффициента теплоотдачи калорифера вследствие снижения скорости и объема воздуха, проходящего через живое сечение калорифера. Сечение обводного клапана должно составлять не менее 70 % живого сечения калориферов.

Кондиционирование воздуха. В помещениях относительно небольшого объема при необходимости регулирования одновременно нескольких параметров воздуха рабочей зоны применяются специальные устройства – *кондиционеры*. Как правило, кондиционерами должны оснащаться кабины транспортных средств, подъемного и карьерного оборудования, условия микроклимата в которых определяются в основном температурой и влажностью наружного воздуха, то есть климатическими условиями региона.

В теплый период года температура воздуха в кабинах превышает температуру окружающей атмосферы вследствие интенсивных теплопритоков через ограждения (крышу, остекления и стенки кабины). Основным источником тепла является солнечная радиация, изменяющаяся в течение суток и по сезонам года. Значительные теплопритоки имеют место от нагреваемых частей оборудования. В меньшей степени влияют на тепловые условия теплопритоки от обслуживающего персонала (водителей, машинистов или операторов машин). В холодный период года, наоборот, происходят утечки тепла из кабин.

Формула для определения теплопритоков (теплопотерь) имеет вид

$$Q_T = \sum k_T F_0 (t_H - t_K), \quad (4.11)$$

где k_T – коэффициент теплопередачи, Вт/м²К;
 F_0 – площадь участков ограждений, м²; t_H , t_K – температура наружного воздуха и воздуха в кабине соответственно, °С.

При $t_H > t_K$ величина Q_T будет отрицательной, то есть в этом случае имеют место потери тепла из кабины.

Для поддержания параметров воздуха в требуемых пределах в теплое время года необходимо производить охлаждение и осушение подаваемого в кабину воздуха, в холодное время года требуется его подогрев и увлажнение.

Кондиционер представляет собой устройство, включающее следующие элементы: вентилятор, очиститель воздуха, увлажнитель его, охлаждающее устройство и калорифер. Схемы таких установок могут быть достаточно сложными. Одна из простейших показана на рис. 4.8.

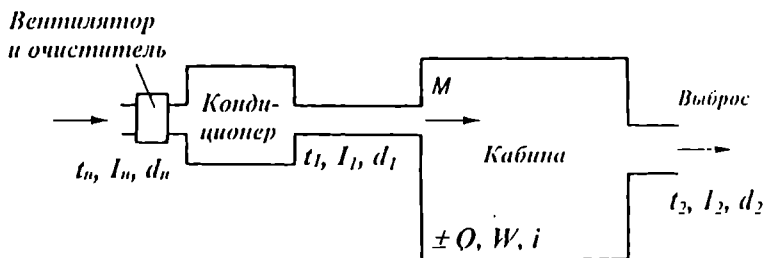


Рис. 4.8. Схема установки кондиционирования воздуха в кабине

Выбранные кондиционирующие установки должны иметь регулирующие устройства для перехода от крайних наружных зимних параметров к крайним летним, и наоборот.

Охлаждение воздуха в кондиционерах может осуществляться с применением *фреоновых* или *парокомпрессорных* установок, *воздушных холодильных машин* с

турбодетандером или вихревой трубкой, реже – с помощью *термоэлектрических батарей и испарительных холодильных установок.*

В фреоновых установках используется хладагент – фреон, перемещающийся по замкнутому циклу: компрессор – конденсатор (теплообменник) – испаритель – компрессор. В пароконпрессорных установках в качестве хладагента используется водяной пар, в воздушных – обычный воздух. В турбодетандерных кондиционерах охлажденный сжатый воздух вначале поступает на турбокомпрессор, где сжимается и повышает температуру, охлаждается в теплообменнике, после чего подается в турбодетандер, где, расширяясь, отдает энергию и резко охлаждается, а затем подается в кабину. Термоэлектрические батареи работают на основе эффекта Пелтье, который заключается в выделении или поглощении тепла на саях двух различных проводников в зависимости от направления электротока. Испарительные установки работают на основе адиабатического увлажнения воздуха при пропускании его через увлажненные фильтры или камеры; их эффективность по сравнению с вышеописанными установками невелика и совсем падает с повышением относительной влажности воздуха более 65 %.

Для подогрева воздуха в системе кондиционирования используются *электрокалориферы; автономные отопители* (для самоходного оборудования с двигателями внутреннего сгорания), с пламенным подогревом при сжигании применяемого топлива или на основе использования тепла отработанных газов; *термоэлектрические* кондиционеры.

Пылеуловитель выбирается в зависимости от загрязненности воздуха, требуемой степени его очистки и возможности работы при любых метеоусловиях окружающей среды.

Для кабин подъемно-транспортных и горных машин (экскаваторов, бульдозеров, скреперов и др.) разработано большое число кондиционирующих установок различных конструкций. Наиболее распространенные серийно выпускаемые модели – КТА2-0,8Г-01 и КТА2-0,8Г-02 горизонтального исполнения, имеющие мощность по холоду 3,7 кВт, по теплу 6 кВт, расход по воздуху 1000 м³/ч, в том числе по наружному 80 м³/ч. Для автосамосвалов БелАЗ-540 и БелАЗ-548 институтом ВНИИБТГ разработана установка с креслом-кондиционером, обеспечивающая подачу в кабину очищенного от пыли, подогретого (зимой) или охлажденного (летом) воздуха

4.3. Очистка воздуха в вентиляционных системах

Пыль хотя и не является составной частью атмосферного воздуха, тем не менее почти неизбежно присутствует в нем как вредная примесь. В промышленности технологические процессы нередко сопровождаются выделением пыли (при размалывании, прессовании, пересыпке, транспортировке, обдирке, шлифовке, полировке, при пульверизационном способе окраски – пыль краски и т.д.).

Пыль – мельчайшие частицы твердого или жидкого вещества, рассеянные в воздухе. Такие системы называются *дисперсными*. При этом воздух (газ) называют *дисперсной средой*, а взвешенные частицы – дисперсной фазой, или *аэрозолью*. Скопления пыли – частицы, выпавшие из воздуха, называют *аэрогелями*. Размеры частиц дисперсной фазы выражаются в микрометрах (микронах), мкм. Пыль встречается размерами от долей микрона до 100 мкм. Дисперсный состав характеризуется содержанием частиц различных фракций. *Фракция* –

доля частиц, размеры которых находятся в определенном интервале значений, принятых в качестве нижнего и верхнего пределов. Частицу произвольной формы условно считают шарообразной, а размер ее определяют по эквивалентному диаметру. Например, пыль размером до 50 мкм делится на несколько фракций (табл.4.1).

Таблица 4.1

Фракции пыли размером до 50 мкм

Номер фракции	1	2	3	4	5	6	7
Размер частиц, мкм	>0-5	>5-10	>10-15	>15-20	>20-30	>30-40	>40-50

При выборе способа очистки воздуха необходимо знать размеры частиц аэрозолей, их электрические и химические свойства, склонность к воспламенению и взрыву, гигроскопичность и смачиваемость. Знак заряда частиц зависит от способа их образования, химического состава. Величина и знак заряда взвешенных частиц влияют на их поведение в среде.

Накопление электрических зарядов в слое пыли, уловленной на фильтрующей перегородке и являющейся плохим проводником электричества, может вызвать электрический пробой и воспламенение фильтров или горючих пылей.

Частицы большинства аэрозолей имеют большую удельную поверхность (порядка $1 \cdot 10^4$ см²/г) и потому достаточно активны. При повышении температуры воспламенение может происходить самопроизвольно. Плотные массы пыли горят более медленно, рыхлая и мелкая пыль возгораются во всем объеме. Воспламеняемость пылей зависит от размеров частиц и содержания кислорода в дисперсионной среде. К воспламенению и

взрыву способны некоторые пыли органических веществ, образующиеся при переработке зерна, красителей, пластмасс, волокон, а также пыли металлов, например Mg, Al, Zn.

Гигроскопичность, смачиваемость и растворимость частиц определяются их химическим составом, размером, формой и степенью шероховатости поверхности частиц. Мелкие частицы смачиваются хуже, чем крупные. Кроме того, чем мельче пыль, тем труднее ее улавливать. Для устранения пылеобразования во время технологических процессов следует применять специальные меры для снижения до минимума образования тонкодисперсных, как правило, трудноулавливаемых частиц.

Устройства для очистки воздуха от пыли делятся на средства тонкой, средней и грубой очистки воздуха. Степень очистки характеризуется конечным содержанием пыли в 1 м³ воздуха – после фильтра (табл. 4.2).

*Таблица 4.2***Характеристика степеней очистки воздуха от пыли**

Степень очистки	Тонкая	Средняя	Грубая
Конечное содержание пыли в воздухе, мг/м ³	1-2	40-50	Более 50

Тонкая очистка применяется в системах приточной вентиляции для фильтрации наружного воздуха. Средняя и грубая очистка воздуха применяется в вытяжных системах с целью предупреждения загрязнения пылью наружного воздуха в зоне нахождения предприятия.

Фильтры характеризуются эффективностью очистки (степень очистки, коэффициент полезного действия); пористостью; скоростью фильтрации; пылеемкостью; гидравлическим сопротивлением, расходом эне-

ргии и материалов; стоимостью установки; стоимостью очистки. Коэффициент полезного действия определяется следующим образом:

$$\eta = (G_1 - G_2)/G_1 = 1 - V_2 z_2 / (V_1 z_1), \quad (4.12)$$

где G_1, G_2 – содержание пыли в воздухе до и после фильтрации, кг/с; V_1, V_2 – объемный расход воздуха до и после фильтрации, м³/с; z_1, z_2 – концентрация частиц в воздухе до и после фильтра, кг/м³.

Степень очистки воздуха (газов) от частиц определенного размера характеризуется коэффициентом очистки по фракционной эффективности:

$$\eta_\phi = (\Phi_n - \Phi_k) / \Phi_n, \quad (4.13)$$

где Φ_n, Φ_k – содержание данной фракции в воздухе, соответственно начальное на входе в фильтр и конечное на выходе из фильтра, %.

Суммарная степень очистки воздуха (в долях единицы) в фильтрах, установленных последовательно,

$$\eta_\Sigma = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (4.14)$$

где $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – степень очистки воздуха соответственно в 1-ом, 2-ом, ..., n-ом фильтрах.

К основным характеристикам фильтра относятся следующие.

Гидравлическое сопротивление фильтра Δp – определяется разностью давлений на входе в фильтр и на выходе из него.

Нагрузка по воздуху (скорость фильтрации) – отношение объемного расхода воздуха, проходящего через фильтр, к площади фильтрующей поверхности, м³/(м²·ч).

Пылеемкость фильтра – количество пыли, которое фильтр задерживает за период непрерывной работы

между двумя сроками регенерации фильтрующего слоя или по достижении определенного значения сопротивления фильтра. Значение пылеемкости следует относить к пыли определенной дисперсности, так как она зависит от размера частиц. При улавливании мелких частиц пылеемкость меньше, чем при улавливании более крупных.

Тканевые фильтры. Тканевые фильтры применяются для улавливания сухих пылей любой концентрации, если имеется возможность регенерации фильтровальных материалов обратной продувкой или встряхиванием. Механизм действия этого фильтра основан на следующих явлениях: *эффект касания* (зацепления), когда частицы проходят совсем близко к поверхности фильтра; *ситовой эффект*, когда размер частицы больше размера пор и происходит отсеивание; *инерционное столкновение*, при котором масса частицы и скорость ее движения таковы, что частица не может следовать вместе с воздухом по линии тока, которая резко искривляется, и встречается с препятствием (волокна фильтра); *гравитационное осаждение* частиц, происходящее в результате вертикального смещения частиц с линии тока под действием их силы тяжести; *электрическое осаждение*, совершающееся в результате взаимодействия зарядов на волокнах или частицах; *броуновское* или *тепловое движение* высокодисперсных систем, подобное массообмену за счет молекулярной диффузии. При этом чем меньше частицы, тем интенсивнее они смещаются с линией тока и тем больше вероятность их осаждения на поверхности волокон фильтра.

Микроструктура тканей по сравнению с волокнистыми материалами неоднородна и усредненная плотность ткани косвенно характеризует ее строение. В процессе осаждения частиц пыли на фильтре образуется сплошной слой пыли, которая сама становится

«вторичной» фильтрующей средой, то есть в ряде случаев чистая ткань выполняет роль несущей поверхности, которая служит основой для формирования и удержания фильтрующего пылевого слоя. При очистке ткани удаляется пылевой осадок, но внутри нее между нитями и волокнами остается пыль, что является причиной сохранения эффективности очистки фильтра, поэтому не следует производить слишком глубокую *регенерацию* фильтров (то есть их очистку по мере накопления пыли).

В тканевых фильтрах применяются хлопчатобумажные, шерстяные, лавсановые ткани, синтетические волокна и нетканые материалы.

Хлопчатобумажные ткани обладают хорошими фильтрующими свойствами, дешевы. Недостаток их – низкая термостойкость, горючесть, высокая влагоемкость. Шерстяные ткани обеспечивают надежную очистку и легкость регенерации. Но их стоимость выше хлопчатобумажных и синтетических. Синтетические волокна заменяют материалы из хлопка и шерсти; обладают хорошими фильтрующими свойствами, характеризуются химической и термической стойкостью, низким влагопоглощением. Лавсановые ткани используются для очистки горячих сухих газов (в цементной и металлургической промышленности). Прочность их в 3–5 раз выше, чем шерстяных. Нетканые материалы – это фильтровальные шерстяные фетры (войлок), получаемые из овечьей шерсти, иногда в смеси с синтетическими волокнами; толщина фетра 1,6–3,2 мм. Фильтры из нетканых материалов обеспечивают после себя низкую концентрацию пыли (≤ 100 мг/м³).

Для регенерации тканевых фильтров применяются два способа:

- встряхивание или продувка фильтров пульсирующей воздушной струей;
- обратная продувка чистым воздухом.

Расчет тканевых фильтров. Площадь фильтрации (ткани)

$$F = F_p + F_c = [(V_1 + V_2) / v_\phi] + F_o \quad (4.15)$$

где F_c – площадь фильтрации в одновременно работающих секциях, м²; F_p – площадь ткани в регенерируемой части фильтра, м²; V_1 – расход запыленного воздуха (с учетом подсоса), м³/мин; V_2 – расход продувочного воздуха, м³/мин; v_ϕ – скорость фильтрации, или воздушная нагрузка на ткань, м³/(м²· мин), которая может быть определена по табл. 4.3.

При указанных нагрузках и начальной концентрации пыли 5–50 г/м³ конечная концентрация пыли составляет 20–50 мг/м³, сопротивление фильтра должно быть в пределах 1000–1500 Па. С ростом сопротивления увеличивается проскок пыли.

Таблица 4.3

Воздушная нагрузка на ткань

Ткань	$v_\phi, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$
Шерстяная или хлопчатобумажная	0,6 – 1,2*
Синтетическая	0,5 – 1
Стеклоянная	0,3 – 0,9

*При малых концентрациях пыли (менее 1 г/м³) – до 3 м³/(м²· мин).

Число фильтров или секций n в многосекционных установках определяют из выражения $n=F/F_1$, в котором F_1 – площадь ткани в одном фильтре (секции), м².

Волокнистые фильтры. Волокнистые фильтры (как правило, фильтры тонкой очистки) представляют собой слои различной толщины, в которых более или менее однородно распределены волокна. Это фильтры

объемного действия, так как они рассчитаны на улавливание и накапливание частиц по всей глубине слоя. Волокнистые фильтры применяют при входной концентрации сухой пыли в пределах 0,5–1 мг/м³. При таких концентрациях основная доля частиц имеет размеры менее 5–10 мкм.

Фильтры из тонких и ультратонких ($d < 0,5$ мкм) стеклянных волокон представляют собой маты, получаемые прессованием мокрых слоев стеклянных волокон. Эти волокна получают распылением расплавленного боросиликатного стекла струями горячего воздуха или вытягиванием нитей. Фильтры применяют для улавливания высокодисперсных аэрозолей с эффективностью не менее 99 % по наиболее проникающим частям размером 0,1–0,5 мкм; скорость фильтрации 0,1 м³/(м²·с). Сопротивление чистых фильтров не превышает 200–300 Па, а запыленных – 700–1500 Па.

При использовании этих фильтров входная концентрация сухой пыли не должна превышать 0,5 мг/м³; при увеличении концентрации от 0,5 до 1 мг/м³ срок службы фильтров сокращается до трех месяцев, поэтому перед фильтрами тонкой очистки следует устанавливать более простые пылеотделители для снижения концентрации пыли до 0,2–0,5 мг/м³. Стекловолоконные фильтры тонкой и грубой очистки имеют производительность 200, 500, 1000 и 1500 м³/ч.

Фильтры грубой очистки могут изготавливаться из шлаковой ваты, получаемой на основе доменных щелочных шлаков. Шлаковая вата укладывается на стальную сетку в маты толщиной 10–50 мм. Степень очистки $\eta = 0,9$, сопротивление до 1500 Па при скорости 0,5 м/с.

Регенерация отработанных фильтров тонкой очистки практически невозможна, забитый пылью

фильтр сжигают (поэтому для улавливания радиоактивных пылей предпочтительны горючие фильтры).

Циклоны. Физическая картина пылеотделения в циклонах состоит в следующем. Запыленный воздух подводится к циклону воздуховодом, направленным по касательной к цилиндрической части циклона, вследствие чего воздух внутри циклона совершает вращательное движение. При этом развивается центробежная сила,

под воздействием которой пыль, обладающая большей, чем запыленный воздух, массой, отбрасывается от центра к периферии и осаждается на стенках аппарата. Отсюда она периодически удаляется через коническую часть. Воздух, очищенный от пыли, удаляется из циклона по выхлопной трубе (рис. 4.9).

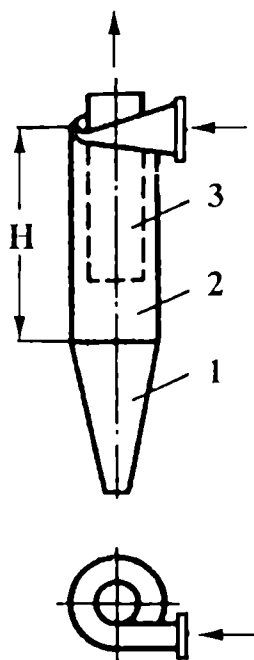


Рис. 4.9. Циклон НИОГАЗ: 1 – коническая часть; 2 – цилиндрическая часть; 3 – выхлопная труба

С уменьшением размеров циклона (диаметров внешнего и внутреннего цилиндров) степень очистки повышается. Поэтому подбор циклонов производится по каталогам, составленным на основании опытных данных для очистки воздуха от определенной пыли в циклонах определенного типа и размеров.

Имеется большое число разнообразных конструкций циклонов, применяемых преимущественно для задержания сухой неслипающейся пыли. Однако все они представляют уст-

ройства, выполненные по одной из трех принципиальных схем, показанных на рис. 4.10: цилиндрический, конический и диффузорный циклоны. Опыт эксплуатации циклонов указанных типов показал, что они могут обеспечить снижение содержания пыли в выбрасываемом воздухе до 150 мг/м^3 при начальной запыленности не выше 1000 мг/м^3 .

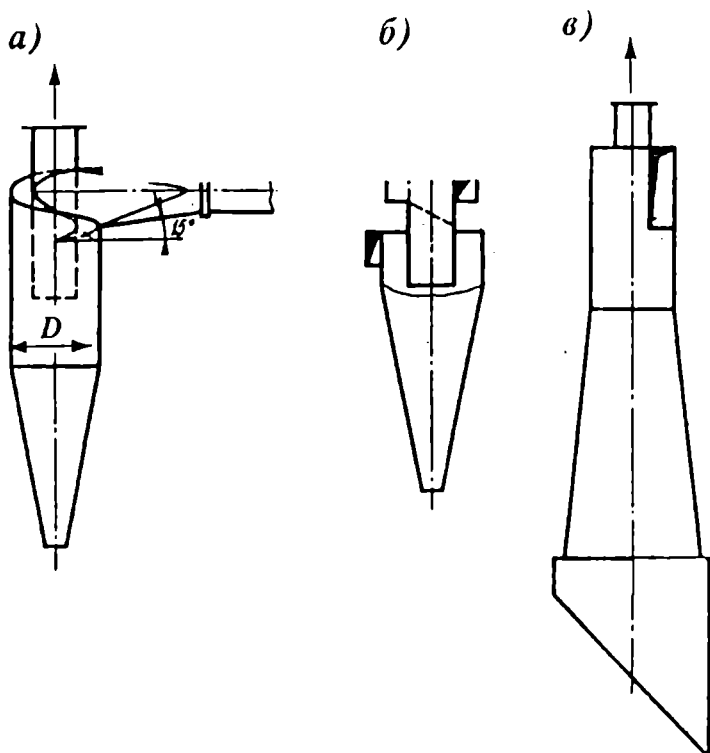


Рис. 4.10. Основные типы конструкций циклонов: а – цилиндрический; б – конический (с укороченной цилиндрической частью); в – циклон с диффузорной нижней частью

Цилиндрический циклон рассчитан на несколько большую производительность, чем циклоны других типов, его целесообразно применять при высоких концентрациях пыли. Циклон с укороченной цилиндрической частью (конический) более других подвержен абразивному износу в нижней части конуса, поэтому его не следует применять при наличии в воздухе абразивной пыли (песка, горелой формовочной земли и т.п.). Циклон с диффузорной нижней частью гарантирует от «зависания» материала и износа нижней части, это наиболее удачная конструкция.

Перечисленные циклоны являются эффективными аппаратами механической очистки воздуха при условии, что размер взвешенных в воздухе твердых частиц не менее 1 мкм (при отсутствии агломерации частиц).

Пылеуловители Вентури. Пылеуловители Вентури получают все большее применение. Труба Вентури состоит из трех элементов: конфузора, горловины и диффузора (рис. 4.11). В конфузоре размещено орошающее устройство – форсунка с рассекающим конусом, разбрызгивающая воду. Запыленный воздух проходит через трубу с большой скоростью (в горловине – до 100 м/с). В результате орошения происходит коагуляция пылевых частиц с каплями и в дальнейшем выпадение из пылеулавливающего устройства.

Эффективность пылеулавливания в трубе Вентури η зависит от размера частиц, расхода воды, скорости воздуха в горловине и длины горловины.

За счет инерционной коагуляции эффективно улавливаются частицы размером $\geq 0,5$ мкм; частицы такого размера улавливаются в основном в горловине; длина горловины не должна превышать 0,3 м, эффективность пылеуловителя повышается с изменением дли-

ны горловины от 0 до 0,3 м. Принимать длину горловины более 30 см нецелесообразно; расход воды – (0,5–2,0) л/м³.

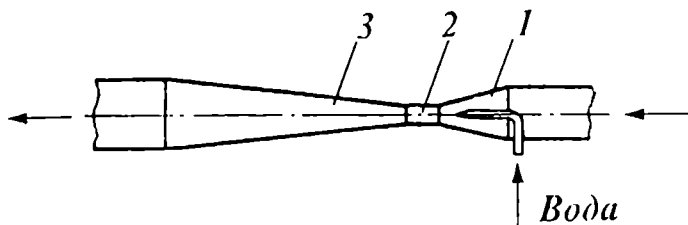


Рис. 4.11. Пылеуловитель Вентури: 1 – конфузор; 2 – горловина (скорость потока 80-100 м/с); 3 – диффузор (скорость потока 10-20 м/с)

Пылеуловители Вентури применяют для очистки аспирационных выбросов, кроме того, для очистки отходящих газов вагранок в литейном производстве, обеспыливания технологических газов в черной и цветной металлургии, в химической промышленности.

Орошаемые фильтры. Орошаемый фильтр представляет собой насадку в виде фарфоровых колец или гравия, смачиваемых жидкостью. Запыленный воздух проходит обычно снизу вверх навстречу движущемуся потоку орошаемой жидкости (обычно вода). Подобные фильтры называют также фильтрами с противоточным орошением. Степень очистки воздуха от пыли в орошаемых фильтрах зависит от плотности орошения (количества жидкости, приходящейся на 1 м² поверхности насадки в плане в течение 1 ч), толщины насадочного слоя, скорости движения запыленного воздуха или воздушной нагрузки.

Орошаемые фильтры рассчитываются по экспериментальным данным. При орошении водой насадка из гравия (средним диаметром 30 мм) или из фарфоровых колец (диаметром 10 мм) для очистки воздуха, удален-

ного от очистных барабанов, рекомендуются следующие данные для проектирования орошаемых фильтров: воздушная нагрузка – $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 , плотность орошения – $3\text{--}4 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 , гидравлическое сопротивление при проходе воздуха через насадку – $250\text{--}400 \text{ Па}$; степень очистки (в зависимости от дисперсности пыли) – $80\text{--}95 \%$.

Масляные фильтры. Масляные фильтры применяются для тонкой очистки воздуха от пыли при малых ее концентрациях ($10\text{--}20 \text{ мг}/\text{м}^3$). Наибольшее применение они нашли для очистки от пыли наружного воздуха в системах приточной вентиляции. Фильтр устраивается в виде ячеек, каждая из которых представляет металлическую коробку размером $500 \times 500 \times 80 \text{ мм}$, затянутую с обеих сторон металлической сеткой. Пространство между сетками заполняется металлическими и фарфоровыми кольцами.

Перед установкой ячейки фильтр промасливают путем погружения в ванну с веретенным маслом (достаточно вязкое, без запаха, медленно сохнущее, мало испаряется, не замерзает). Запыленный воздух очищается, проходя через лабиринтовый путь заполнителя, к стенкам которого прилипает пыль. С течением времени по мере загрязнения пылью возрастает гидравлическое сопротивление фильтра и снижается фильтрующая способность. Для восстановления ячейки фильтров промывают горячим содовым раствором, промасливают и снова устанавливают на место. Расчетную поверхность масляного фильтра определяют по допустимой воздушной нагрузке, принимаемой $4000\text{--}8000 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 фильтра. Гидравлическое сопротивление фильтра, соответствующее такой нагрузке, – $(60\text{--}160) \text{ Па}$.

При расходах воздуха в приточной системе более 10000 м³/ч устанавливают самоочищающиеся масляные фильтры с пропускной способностью 10000 и 20000 м³/ч. В них воздух очищается от пыли в процессе его прохождения через замкнутую в кольцо непрерывно движущуюся сетчатую ленту, смоченную маслом.

Эффективность улавливания масляными фильтрами частиц размером более 10 мкм составляет 95 %.

Ротационные пылеотделители. Центробежные пылеотделители ротационного действия в вентиляционной технике не получили большого развития. Здесь используется эффект утяжеления взвешенных частиц в центробежном поле. Вследствие этого частицы сепарируются от центра к периферии. В центробежном поле скорость оседания может быть увеличена в любое число раз. Следовательно, центробежные пылеотделители могут работать с коэффициентом очистки, приближающимся в пределе к 100 %.

Большинство конструкций ротационных пылеотделителей служит для очистки воздуха от пыли и одновременно для перемещения его. Подобного типа пылеотделители находят применение в качестве вентиляционного агрегата, встроенного в пылящее оборудование.

Электрические фильтры. При выборе метода и аппарата очистки газов или воздуха следует установить происхождение газовых взвесей, так как возможность разделения газовой неоднородной системы определяется в основном размерами взвешенных частиц, а они, как отмечалось выше, зависят от условий образования. Взвеси, образовавшиеся в результате механических процессов, состоят из частиц диаметром 5–50 мкм и более; взвеси, образовавшиеся при термических и химических процессах, состоят из частиц диаметром до 3 мкм; взвеси, получающиеся в результате горения, состоят в

основном из частиц диаметром 50–70 мкм. Очень мелкие частицы (до 100 мкм) во многих случаях могут соединяться в крупные (явление коагуляции). Взвешенные в газах частицы в зависимости от способа получения и химического состава обладают положительным или отрицательным электрическим зарядом.

Процесс электрической очистки газов от взвешенных частиц (пыли, тумана, дыма) можно разделить на три стадии: зарядка взвешенных частиц; движение заряженных частиц к электродам под действием сил электрического поля и осаждение на электродах заряженных движущихся частиц.

Взвешенная в газах частица при поступлении в электрофильтр приобретает электрический заряд, который за долю секунды достигает значения, близкого к максимальному. Основной силой, обеспечивающей движение частиц в электрофильтре, является кулоновская сила. Осаждение частиц на электродах электрофильтра зависит от проводимости и размера частиц, скорости газов, их температуры и влажности, а также состояния поверхности осадительных электродов.

Степень очистки электрофильтров – 60–99 %.

Разновидности электрофильтров: трубчатые, пластинчатые, сухие и мокрые.

Осадительные устройства в трубчатых электрофильтрах изготавливают из труб круглого, квадратного или шестиугольного сечения, диаметром описанной окружности 2000–3000 мм, длиной 3000–5000 мм. Осадительные электроды пластинчатых электрофильтров представляют собой гладкие пластины.

Удаление с электродов осевшей пыли производится специальными механизмами для встряхивания осадительных и коронирующих электродов.

Электрофильтры применяют для очистки печных газов в химической, нефтеперерабатывающей промышленности, в производстве минеральных удобрений, на сажевых заводах, в черной металлургии для очистки доменного газа, для очистки от золы дымовых газов котельных, для очистки газов на цементных заводах. Кроме того, электрофильтры применяют для очистки сильно запыленного вытяжного воздуха.

Для подбора электрофильтров необходимо знать место работы фильтра, расход газа, температуру, разрежение, степень очистки.

5. ОСНОВЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

5.1. Особенности вентиляции объектов горного производства

Общие понятия. Вентиляция горных объектов выделяется в отдельную отрасль инженерных наук, поскольку условия проветривания этих объектов значительно отличаются от общепромышленных. В этой отрасли отсутствуют рабочие помещения в привычном смысле. Объектами проветривания являются горные выработки различных объемов, они же служат и воздуховодами. При открытых горных работах выработки имеют такие размеры (объемы), что уже не могут являться воздуховодами как таковыми и для выноса вредных из карьера необходимо организовать направленное движение огромных масс воздуха. Условия распространения воздуха при подземной и открытой разработке существенно различны, поэтому изучение закономерностей движения воздушных струй и разработка методов расчета вентиляции подземных предприятий осуществляется рудничной аэрологией, для открытых горных работ – аэрологией карьеров.

Тем не менее основная цель, задачи и функции вентиляции на горных предприятиях остаются теми же: нормализация параметров атмосферы на рабочих местах и максимально возможное снижение загрязнения атмосферы Земли промышленными выбросами. Однако осуществление этих функций производится с учетом специфики условий горных работ.

Основными особенностями вентиляции горных объектов являются следующие.

Одна из основных сложностей проветривания рабочих мест на горных предприятиях – то, что источники выделения вредных и взрывоопасных примесей (газы, пыль) перемещаются в пространстве и их интенсивность изменяется во времени. Причем интенсивность источников при прочих равных условиях зависит от применяемой технологии и организации работ (темпов подвигания забоев)

Вентиляционные сети шахт, так же как форма и размеры карьера, постоянно изменяются по мере отработки месторождения: удлиняются выработки, одни выбывают и “погашаются”, появляются другие; меняется аэродинамическое сопротивление выработок в результате их “старения” или замены крепи. Шахтные вентиляционные сети имеют очень большую протяженность выработок (сеть современной шахты может насчитывать десятки километров) и сложную топологию (множество разветвлений, поворотов как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости). Распределение воздуха в таких сетях в соответствии с потребностями в нем является технически сложной задачей. Для рудников характерно наличие в сети камер большого объема, в которых меняется характер вентиляционных струй. Кроме того, шахтные сети включают в себя фильтрационные потоки – *утечки* – через зоны обрушений (выработанные пространства), трещиноватые целики и перемычки, разделяющие вентиляционные струи в параллельных выработках.

Аэродинамические сопротивления горных выработок вследствие их высокой шероховатости значительно выше, чем сопротивления гладких труб. Наличие множества поворотов, изменение площадей сечений выработок, а также размещение оборудования, загромаждающего выработки и уменьшающего их “живое сече-

ние" (любые сопротивления), также приводят к существенному увеличению общего сопротивления сети.

Для шахтных вентиляционных сетей характерно также наличие встречных потоков и пересечений струй свежего и загрязненного воздуха. Чтобы исключить *рециркуляцию* вредностей (то есть попадание загрязненной струи воздуха в свежую и возвращение ее к рабочему месту, в результате которого вредности не уносятся вентиляционной струей, а накапливаются у источника их выделения), требуется довольно сложная организация потоков.

По характеру проветривания подземные горные выработки разделяются на сквозные и тупиковые. Сквозные выработки сообщаются с другими выработками в двух пунктах, и их проветривание осуществляется за счет работы вентилятора главного проветривания (за счет общешахтной депрессии) и естественной тяги. Тупиковые выработки сообщаются с другими выработками в одном пункте. Особенность проветривания тупиковых выработок заключается в том, что удаление выделяющихся в них вредностей может быть осуществлено только с помощью специальных устройств или средств, располагаемых в них и в прилегающих к ним выработках. Без применения средств вентиляции на негазовых шахтах могут проводиться выработки длиной не более 10 м. Удаление вредностей из них осуществляется за счет молекулярной и турбулентной диффузии.

Особенность проветривания открытых горных работ – отсутствие ограничивающих воздухопроводов: карьеры проветриваются свободными струями. Поскольку объекты проветривания находятся под открытым небом, на состояние воздуха рабочей зоны определяющее влияние оказывают атмосферные условия и рельеф местности.

Шахтный воздух. Атмосферный воздух, заполняющий горные выработки, называется рудничным, или шахтным. Состав и другие параметры шахтного воздуха изменяются по мере движения его по выработкам. Эти изменения заключаются в уменьшении содержания кислорода и увеличении содержания углекислого газа, азота, метана, окиси углерода и других газов, а также пыли. Кроме того, меняются температура, влажность воздуха и атмосферное давление.

Аналогично воздух, заполняющий карьер, называется атмосферой карьера и отличается от атмосферного наличием загрязнений (газо-, пыле- и тепловыделений), связанных с ведением основных и вспомогательных технологических процессов.

Если состав шахтного (карьерного) воздуха от атмосферного отличается незначительно, то такой воздух называется свежим. При существенном отличии состава шахтного воздуха от атмосферного воздух называется загрязненным. Выработки, по которым подается чистый воздух, называются воздухоподающими, а выработки, по которым удаляется загрязненный воздух, — вентиляционными.

Различают *техногенные* (зависящие от технологии ведения горных работ) и *природные* источники загрязнения воздуха. К техногенным источникам относятся производство взрывных работ, работа двигателей внутреннего сгорания, разрушение горных пород и полезного ископаемого в процессе отделения их от массива и др. Природными источниками являются обнаженные поверхности горного массива, отбитые куски угля и породы, минеральные источники, пересекаемые горными выработками, и др. Основными источниками выделения углекислого газа на шахтах являются процессы гниения и окисления древесины и угля, разложения горных по-

род кислыми водами, десорбции из пород и полезного ископаемого. Также источниками могут быть взрывы метана и угольной пыли, пожары.

В связи с тем, что температура пород, начиная с некоторой глубины, имеет положительное значение, среднегодовая температура воздуха в шахтах выше, чем на поверхности. Максимальные сезонные и суточные колебания температуры воздуха наблюдаются в воздухоподающих выработках, минимальные – в вентиляционных.

На большинстве шахт имеет место приток воды в горные выработки, поэтому влажность воздуха в них, как правило, выше, чем на поверхности. Особенно высока влажность воздуха при гидроотбойке и гидротранспорте полезного ископаемого (вскрышных пород). На шахтах, где притока воды нет (каменносоляные, калийные), влажность воздуха зависит от температуры горных пород и влажности воздуха на поверхности (летом она выше, зимой ниже).

Среднее физическое состояние воздушной среды в горных выработках определяет их микроклимат. Он зависит от температуры, влажности, скорости движения воздуха и его давления. В главных вскрывающих выработках эти параметры находятся под сильным влиянием климата на поверхности, а по мере удаления потока от поверхности на них все большее влияние оказывают горно-геологические факторы. В глубоких шахтах физическое состояние воздуха практически не зависит от климата на поверхности. В них формируется собственный микроклимат, который существенно зависит от тепловлагообменных процессов, происходящих по пути движения шахтного воздуха. Шахтный микроклимат оказывает влияние на физико-механические свойства горных пород и на безопасное состояние сооружений и

выработок. Изменения шахтного микроклимата могут вызвать обмерзание шахтных стволов, штолен и каналов вентиляторных установок, разрушение вентиляционных сооружений и предохранительных целиков в соляных шахтах, обвалы и пучение стенок выработок в зоне многолетней мерзлоты, обильную конденсацию пара и обводненность вентиляционных стволов глубоких шахт и др. Микроклимат горных выработок влияет на физиологию и гигиену труда горнорабочих.

В мировой практике нет единого метода нормирования шахтного микроклимата и микроклимата карьеров. Для этой цели применяются кататермометрия и специальные показатели – эффективная температура, результирующая температура, индексы теплового напряжения, тепловой баланс тела человека и др. Правилами безопасности для соответствующих технологий в зависимости от конкретных горно-геологических условий предусматриваются определенные ограничения. Так, например, для предотвращения обмерзания горных выработок поступающий в шахту воздух в зимних условиях должен подогреваться до температуры $\geq +2$ °С.

Давление воздуха зависит от глубины разработки: чем больше глубина горных работ, тем выше давление. При достигнутой на шахтах глубине разработки оно достигает 120 кПа и более. На высокогорных предприятиях давление воздуха ниже, чем на уровне моря. В шахтах вентилятор, работающий на нагнетание, повышает давление воздуха в выработке, вентилятор, работающий на разрежение, понижает его.

Газообильность горных выработок. При подземной отработке месторождений выделение вредных и взрывоопасных газов (из вмещающих пород или при работе самоходного оборудования) при ограниченности пространства, как правило, является определяющим

фактором для расчета вентиляции рабочих мест. Интенсивность выделения газа в отдельную горную выработку, в пределах добычного участка, пласта или шахты в целом характеризуется *газообильностью*. Различают *абсолютную* и *относительную* газообильность. Абсолютной газообильностью шахты называется количество газа, которое выделяется в единицу времени во всех ее выработках. Относительной газообильностью шахты называется количество газа, выделяющееся при добыче 1 т или 1 м³ горной массы в единицу времени.

Абсолютная газообильность угольных шахт по метану достигает 200 м³/мин, а относительная – 250 м³/т. На некоторых полиметаллических шахтах абсолютная газообильность составляет 0,5 м³/мин, а на золоторудных – 2,5 м³/мин.

Содержание взрывоопасных и ядовитых газов в воздухе строго нормируется Правилами безопасности.

В непроветриваемых горных выработках (особенно в тупиковых) содержание кислорода может уменьшаться за счет окислительных процессов в течение нескольких суток до 3–5 %. В плохо проветриваемых выработках при выделении неядовитых газов из вмещающих пород и полезного ископаемого, а также в моменты внезапного выделения газов воздух настолько обедняется кислородом, что становится непригодным для дыхания. Вход в такие выработки опасен для жизни. По Правилам безопасности содержание кислорода в действующих выработках, куда разрешен допуск людей, должно быть не менее 20 %.

Управление газовой выделением в шахтах. На шахтах и рудниках с высокой газообильностью по метану или (и) водороду необходимо предусматривать специальные меры, направленные на снижение опасности взрывов этих газов. Эта цель достигается двумя группами мето-

дов: *вентиляционными и дегазационными*. Вентиляционные методы предусматривают интенсивное разбавление выделяющихся газов до взрывобезопасных концентраций, равномерное перемешивание газов за счет повышения турбулизации потоков воздуха, обособленное проветривание различных источников газовыделения отдельными потоками свежего воздуха (за счет проведения дополнительных выработок), перераспределение газовой выделенности в пространстве за счет изменения направления вентиляционных струй и фильтрационных потоков утечек. При использовании вентиляционных методов практически весь газ, выделяющийся в вентиляционную струю, выбрасывается в атмосферу на поверхности, т.к. в настоящее время отсутствуют надежные и экономичные способы и средства очистки шахтных исходящих вентиляционных струй.

Дегазация – принудительное извлечение газа из толщи пород инженерными средствами, минуя атмосферу горных выработок.

Дегазация осуществляется чаще всего путем бурения скважин в дегазируемую толщу (на разрабатываемый пласт, во вмещающие породы или выработанное пространство). Устья скважин обсаживают трубами, герметизируют и подключают к дегазационному трубопроводу. Трубопровод выводится на поверхность и подключается к вакуум-насосу, создающему разрежение в системе, обеспечивающее более интенсивный приток газа в скважины и транспортировку его на поверхность. Вместо скважин могут использоваться горные выработки, перекрываемые герметизирующими перемычками, а для дегазации выработанных пространств – перфорированные трубы, оставляемые в завале.

Дегазационные установки могут быть стационарными и передвижными. Последние используются при дегазации скважинами с поверхности.

При эффективной дегазации концентрация газа в смеси, отсасываемой вакуум-насосом, достаточно высока, что позволяет утилизировать (использовать) извлекаемый газ. В этом случае газ из дегазационных систем не будет загрязнять земную атмосферу. Поэтому с точки зрения экологии дегазационные методы более предпочтительны для управления газовыделением в шахтах.

Как правило, на современных шахтах эти методы применяются в комплексе, так как вентиляция имеет многофункциональное назначение, но без дегазации не обеспечивает требуемого уровня безопасности шахтной атмосферы.

Нормализация параметров микроклимата. При температуре шахтного воздуха, не соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям, возникает необходимость регулирования теплового режима шахты. Совокупность мероприятий, изменяющих термовлажностное состояние воздуха, называется *тепловым кондиционированием* воздуха. Оно осуществляется путем интенсивной вентиляции горных выработок, уменьшения притока тепла, искусственного охлаждения и осушения, а также искусственного подогрева поступающего в шахту воздуха. Интенсивная вентиляция горных выработок достигается увеличением скорости вентиляционного потока. Охлаждающий эффект вентиляционного потока интенсивно проявляется при увеличении его скорости с 0,5 до 4 м/с. При дальнейшем увеличении скорости потока интенсивность уменьшения температуры воздуха снижается незначительно. Если последняя выше допустимой максимальной температуры, то наряду с интенсивной

вентиляцией следует применить искусственное охлаждение воздуха.

Искусственное охлаждение и осушение воздуха осуществляется путем пропуска воздушного потока через каналы и сооружения, имеющие сравнительно большую поверхность контакта с воздухом и меньшую температуру по сравнению с температурой воздуха (воздухоохладители).

Наибольшее применение нашло искусственное охлаждение шахтного воздуха холодильными установками. Принцип работы такой установки (рис. 5.1) состоит в следующем. С помощью насосов и компрессора поддерживается движение хладагента в машине, жидкости для охлаждения конденсатора и хладоносителя для охлаждения воздуха. Компрессор всасывает пары хладагента из испарителя и нагнетает их в конденсатор. Под влиянием повышенного давления и внешнего охлаждения пары переходят в жидкое состояние, отдавая теплоту в конденсаторе. За регулирующим вентилем давление снова понижается и хладагент испаряется, охлаждая при этом хладоноситель в контуре воздухоохладителя. При этом термодинамическом цикле в контур машины поступает теплота из охлаждаемой жидкости внешнего контура в испарителе в охлаждающую жидкость внешнего контура в конденсаторе.

Хладагент должен обладать высокими хладопроизводительными свойствами в термодинамическом цикле машины. Кроме того, он должен отвечать требованиям безопасности в шахтах (не гореть, не быть ядовитым, не образовывать взрывчатых смесей, иметь слабую агрессивность в отношении конструктивных материалов и масел). Наибольшее применение в качестве хладоносителя нашли аммиак и фреон, но аммиак в подземных холодильных машинах не используется, так как

он ядовит и образует взрывчатые смеси. Фреон имеет хорошие термодинамические свойства и более безопасен, чем аммиак, что позволяет применять его в подземных холодильных машинах. Наибольшее применение нашли фреон-12 (CF_2Cl_2) и фреон-22 (CHF_2Cl). Фреон-12 – бесцветный газ со слабым запахом (при концентрации более 20 %), не ядовит и не образует взрывчатых смесей. При температуре $>400^\circ\text{C}$ он разлагается и образует отравляющий газ фосген. Аналогичные свойства имеет фреон-22, но его хладпроизводительность по сравнению с фреоном-12 в 1,6 раза больше.

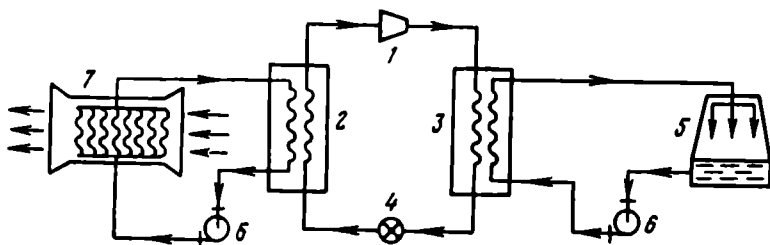


Рис. 5.1. Принципиальная схема установки для искусственного охлаждения шахтного воздуха: 1 – компрессор; 2 – испаритель; 3 – конденсатор; 4 – регулирующий вентиль; 5 – охлаждающее устройство; 6 – насосы; 7 – воздухоохладитель

На шахтах применяются также (более ограниченно) воздушные и абсорбционные холодильные машины. В воздушно-компрессорных машинах цикл хладопроизводства открытый, а хладагентом и хладоносителем является воздух, который после расширения поступает в вентиляционный поток. В абсорбционных машинах цикл хладопроизводства замкнут и поддерживается процессом сорбции и внешней тепловой энергией испарения хладагента.

Холодильные установки бывают стационарными и передвижными. Передвижные установки предназначены для охлаждения воздуха в тупиковых выработках или в отдаленных очистных забоях и имеют хладопроизводительность 50–140 кВт. Некоторые модификации передвижных установок имеют легкопереносимый воздухоохладитель. Воздушно-компрессор-ные машины РВК–1 и ВВК–1 имеют хладопроизводительность соответственно 17–20 и 35–45 кВт, а пароконпрессорные типа КПШ40 – 120 кВт.

Искусственный подогрев подаваемого в шахту воздуха осуществляется с помощью паровых, водяных или электрических калориферов. Калориферы располагаются в специальных каналах, через которые пропускается часть подаваемого в шахту воздуха. Подогретый воздух подается в шахтный ствол с помощью вентилятора через отверстия, расположенные на расстоянии 1,5–2,0 м от дневной поверхности. Для лучшего смешивания с поступающим через устье шахтного ствола холодным воздухом теплый воздух направляется под углом к поперечному сечению шахтного ствола.

Мощность калориферной установки определяется следующими зависимостями:

$$\Delta\Psi_{к\text{ал}} = \rho_1 Q_1 c_n \delta (t_1 - t_n) ; \quad (5.1)$$

$$Q_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} Q_1 \frac{t_1 - t_n}{t_2 - t_n} , \quad (5.2)$$

где $\Delta\Psi_{к\text{ал}}$ – теплопроизводительность калориферной установки, Вт; Q_1 и Q_2 – общий дебит соответственно вентиляционного и подогреваемого потоков, м³/с; t_1 и t_2 – температура воз-

духа соответственно после смешивания с общим потоком и в потоке за калориферами, °С;

ρ_1 и ρ_2 – плотность воздуха в тех же точках,

кг/м³; t_n – температура воздуха на поверхности, °С.

Температура t_2 по технико-экономическим обоснованиям принимается в пределах 60-70 °С, температура воздуха после смешивания t_1 должна быть ≥ 2 °С.

5.2. Понятие способа и схемы вентиляции

Для обеспечения движения воздуха по горным выработкам в данном направлении и с требуемой интенсивностью необходимо создать определенный перепад давления воздуха, который в рудничной аэрологии обозначается термином *депрессия*. *Способом вентиляции шахт* называют способ создания необходимого перепада давления воздуха. В зависимости от этого различают нагнетательный (приточная вентиляция), всасывающий (вытяжная) и нагнетательно-всасывающий (комбинированный) способы вентиляции (рис. 5.2).

Нагнетательный способ вентиляции состоит в том, что перепад давления в шахте создается путем повышения давления воздуха вентилятором в воздухоподающем стволе до величины p_1 . В устье воздухоотводящего ствола оно остается равным атмосферному p_a . Таким образом, в выработках шахты создается перепад давления, представляющий собой депрессию шахты, которая определяется по формуле

$$h = p_1 - p_a . \quad (5.3)$$

Достоинства нагнетательного способа – возможность применения одной вентиляторной установки, располагаемой, как правило, в центре шахтного поля, вы-

сокая устойчивость работы главного вентилятора, удобство регулирования распределения расхода воздуха в сети и управления вентиляционными режимами при авариях, а также обслуживания вентилятора, длительный срок службы вентилятора, так как через него проходит чистый воздух, отсутствие подсосов воздуха через обрушенные породы. Недостатки нагнетательного способа – необходимость устройства герметичного надшахтного здания для уменьшения утечек, а также установки мощного главного вентилятора с большим диапазоном регулирования расхода воздуха и депрессии, возможность загазования выработок и возникновения взрывоопасной среды при аварийной остановке вентилятора в газовых шахтах.

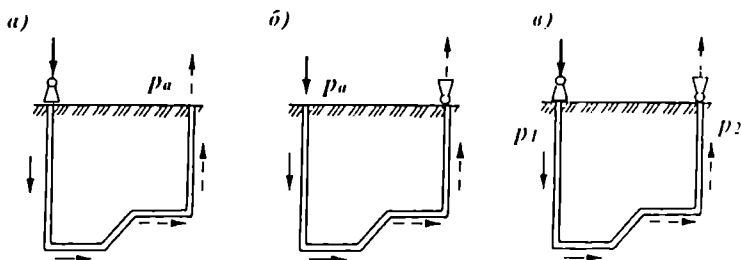


Рис. 5.2. Способы вентиляции шахт: *а* – нагнетательный; *б* – всасывающий; *в* – нагнетательно-всасывающий

При всасывающем способе вентиляции необходимый для движения воздуха перепад давления создается путем разрежения воздуха вентилятором в устье воздухоотводящего ствола до значения p_2 , меньшего, чем атмосферное давление. Депрессия шахты определяется по формуле

$$h = p_a - p_2 . \quad (5.4)$$

В этом случае давление воздуха в любой точке горных выработок меньше атмосферного. Поэтому при

остановке вентилятора воздух с дневной поверхности будет поступать в горные выработки под действием разности между атмосферным давлением и давлением воздуха в шахте.

Так как вентилятор пропускает исходящую струю, то есть загрязненный воздух, то необходимо систематически осматривать и очищать канал вентилятора от рудничной пыли. В газовых шахтах особенно важно систематически контролировать содержание метана в общей исходящей струе, так как вероятность взрыва метана при проходе воздушной струи через вентиляторную установку возрастает.

При установке нескольких вентиляторов на различных стволах шахты повышаются интенсивность и эффективность проветривания выемочных участков на флангах шахтного поля, но при использовании нескольких вентиляторов сложнее регулировать воздушные потоки. При этом затраты энергии на проветривание возрастают.

При всасывающем способе имеют место подсосы воздуха с поверхности через зоны обрушения, трещины и провалы, что вызывает загрязнение воздуха в очистных забоях и снижение интенсивности вентиляции, а на пластах, опасных по самовозгоранию, может явиться причиной возникновения эндогенных пожаров. Поэтому всасывающий способ вентиляции применяется при разработке угольных пластов, не склонных к самовозгоранию (на глубине >200 м) и не имеющих аэродинамической связи с поверхностью через зоны обрушения, провалы, трещины и др.

Нагнетательно-всасывающий способ вентиляции заключается в том, что в одной части выработок шахты нагнетательным вентилятором создается избыточное давление воздуха, а в другой части всасывающим венти-

лятором – разрежение. Депрессия шахты, создаваемая нагнетательным и всасывающим вентиляторами, определяется по формуле

$$h = p_1 - p_2 . \quad (5.5)$$

При нагнетательно-всасывающем способе вентиляции в шахте имеется область, в которой давление воздуха равно атмосферному давлению. Между этой областью и дневной поверхностью перепад давления равен нулю, что даже при наличии каналов для прохода воздуха исключает его движение. Поэтому нагнетательно-всасывающий способ применяется в случаях, когда необходимо ликвидировать или уменьшить утечки или подсосы воздуха через выработанное пространство и трещины. При этом общешахтная депрессия распределяется на два последовательно работающих вентилятора, устанавливаемых в воздухоподающем и воздухоотводящем стволах. Однако при наличии нескольких всасывающих вентиляторов и разбросанности горных работ возникают трудности в управлении проветриванием. Способ применяется на шахтах при значительной протяженности горных выработок и разработке самовозгорающихся углей и руд. То есть при высокой общешахтной депрессии изменение давления в выработках относительно атмосферного может быть значительно снижено.

Под *схемой вентиляции* понимают взаимное расположение воздухоподающих и воздуховыдающих выработок, определяемое направлением движения свежих и отработанных вентиляционных потоков. При встречном движении указанных потоков схема вентиляции называется *возвратно-точной*. Если вентиляционная струя не изменяет направления движения на всем пути следования, схема вентиляции называется *прямоточной*. В слу-

чаях, когда в системе вентиляции присутствуют элементы различных схем, имеет место *комбинированная* схема вентиляции.

5.3. Схемы вентиляции шахт

В зависимости от числа и взаимного расположения выработок, по которым подается свежий и отводится загрязненный воздух, различают следующие схемы вентиляции шахт: *центральная* или *возвратноточная* (с центрально-сдвоенными или центрально-отнесенными стволами); *фланговая* – *прямоточная* (крыльевая – с общей для крыла выработкой для ствола исходящей струи; *групповая* – с общей воздухоподающей выработкой для нескольких участков крыла; *участковая* – каждый участок имеет свою воздухоподающую выработку); *комбинированная*.

При *центрально-сдвоенной* схеме вентиляции (рис. 5.3) воздухоподающий и воздухоотводящий стволы располагаются в центре шахтного поля на расстоянии 30-100 м друг от друга. Свежий воздух подается по одному из стволов, разветвляется на крылья шахты, оmyивает очистные забои и затем движется по вентиляционным выработкам ко второму стволу, по которому выдается на поверхность. При *центрально-отнесенной* схеме (рис. 5.4) стволы располагаются на значительном расстоянии один от другого. Так как при центрально-сдвоенной и центрально-отнесенной схемах воздух движется по параллельным выработкам, но в противоположном направлении (свежий воздух – к забоям, загрязненный – из забоев), то эти схемы относят к возвратноточным.

Достоинства центральных схем – относительно малые капитальные затраты, быстрый ввод шахты в эксплуатацию, незначительные потери полезного иско-

паемого в целиках, наличие одной вентиляционной установки, простота управления проветриванием.

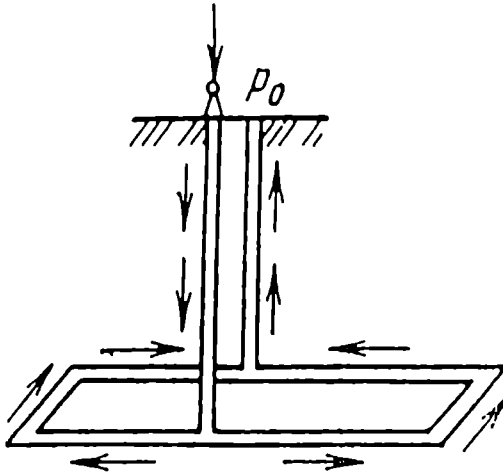


Рис. 5.3. Центральнo-двoеннaя cхeмa вентилiaции шахты

К недостаткам центральных схем необходимо отнести высокую депрессию шахты и значительное ее изменение по мере отработки шахтного поля, что требует обеспечения большой глубины регулирования вентилятора (в связи с тем что изменяется расстояние от очистных забоев до стволов), большие утечки воздуха в околоствольном дворе и на пути движения свежей и исходящей струй, потребность в вентиляционном горизонте по всей длине шахтного поля.

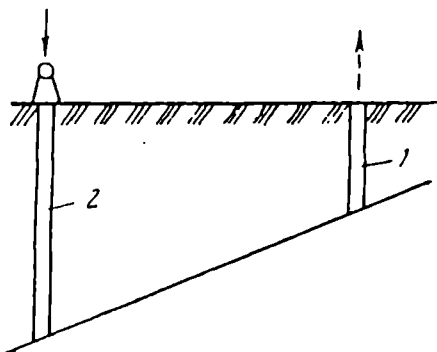


Рис. 5.4. Центральнo-отнесенная схема вентиляции шахты: 1, 2 – соответственно воздухоотводящий и воздухоподающий стволы

Фланговые (диагональные) схемы вентиляции применяются при вскрытии шахтного поля в центре и на границах (рис. 5.5). В центре шахтного поля располагаются один или два ствола (как правило, воздухоподающие), а на границах шахтного поля – фланговые стволы (как правило, воздухоотводящие). Свежий воздух подается по центральному стволу и движется по выработкам основного горизонта к очистным забоям. Исходящая струя поступает в выработки вентиляционного горизонта и отводится через фланговые стволы на дневную поверхность. Воздух по всей длине крыла движется в одном направлении, то есть фланговые схемы вентиляции являются прямоточными.

К достоинствам фланговых схем относятся также отсутствие утечек воздуха при его движении от воздухоподающего ствола до очистного забоя, уменьшение утечек (потерь) воздуха на фланговых стволах (которые в меньшей степени используются для целей транспортирования), уменьшение общешахтной депрессии за счет сокращения пути движения воздуха. Общешахтная депрессия по мере отработки шахтного поля изменяется незначительно, поэтому не требуется замена вентилятора (или

существенная глубина регулирования вентиляционных установок) на протяжении всего срока службы шахты.

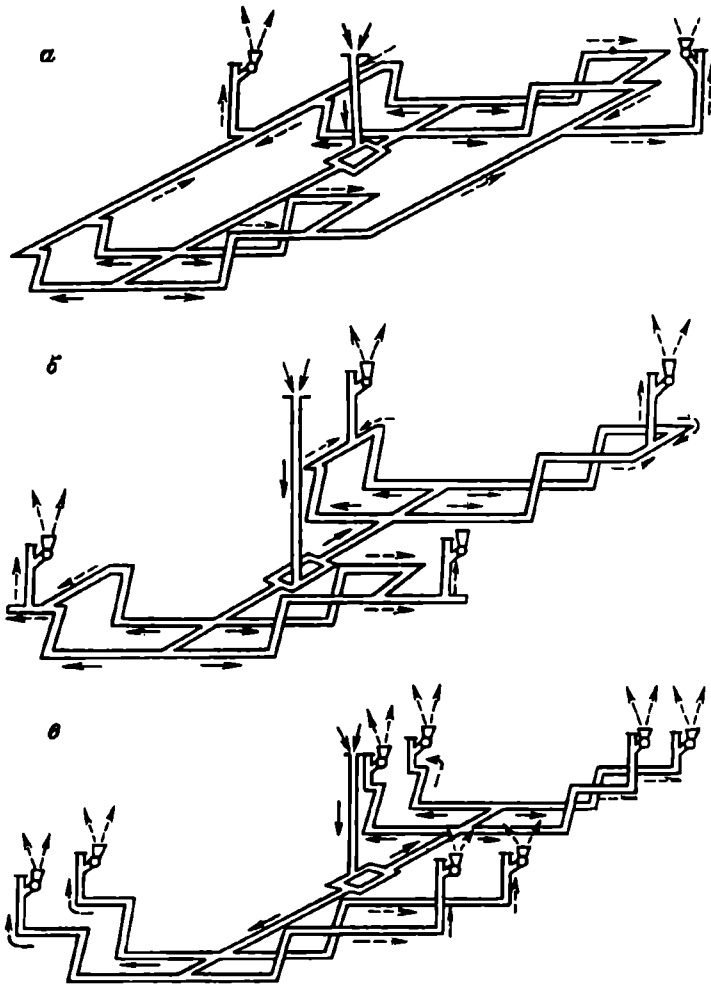


Рис. 5.5. Фланговые схемы вентиляции шахты: а – крыльевая; б – групповая; в – участковая

Недостатки фланговых схем – большие капитальные затраты, вызванные необходимостью проведения выработок основного горизонта перед началом очистных работ до границ шахтного поля, увеличение потерь полезного ископаемого в охранных околотвольных целиках, что особенно важно при разработке ценных руд, наличие большого числа вентиляционных установок, усложняющих управление вентиляторами, их электрообеспечение и обслуживание.

Комбинированные схемы вентиляции шахт сочетают в себе элементы центральных и фланговых схем. В этих схемах в качестве воздухоподающего используется центральный ствол, а в качестве воздухоотводящих – центральные и фланговые стволы. При использовании таких схем часть выработок (особенно выработки, удаленные от воздухоподающего ствола участков) проветривается по прямоточным схемам, а другая часть – по возвратноточным. При данной схеме можно осуществить раздельное проветривание подготовительного горизонта (с отводом исходящей струи через центральный ствол) и горизонта очистных работ (с отводом исходящей струи через фланговые стволы).

Достоинством комбинированных схем проветривания является то, что при значительном числе выработок и больших размерах шахтного поля депрессия вентиляторных установок остается относительно невысокой, повышается надежность проветривания отдельных участков, повышается безопасность работ благодаря увеличению числа выходов из шахты на поверхность.

Недостатки комбинированных схем – сложность вентиляционной сети, трудность управления работой вентиляторов и регулирования распределения воздуха по шахте в целом, большие капитальные затраты.

По степени независимости вентиляции отдельных частей шахтного поля схема вентиляции может быть *единой, секционной и комбинированной*.

Если по условиям проветривания шахтное поле целесообразно разделить на ряд участков (секций), то применяется комбинированная секционная схема вентиляции. В этом случае в центре шахтного поля проходятся воздухоподающие и воздухоотводящие стволы, а на флангах для отвода воздуха – шурфы. Секции проветриваются раздельными воздушными потоками. Секционная схема применяется на крупных шахтах и рудниках, где для подачи и отвода воздуха используются до 10 шахтных стволов.

При выборе схем вентиляции стремятся максимально использовать для проветривания выработки, предназначенные для других целей (для транспортирования, подъема и др.). Все очистные и подготовительные забои и другие места работы должны проветриваться свежей вентиляционной струей. По Правилам безопасности запрещается подача свежего воздуха в шахту по скиповым и наклонным стволам или другим общешахтным выработкам, оборудованным конвейерами, на шахтах, опасных по пыли, а также отвод воздуха через обрушенные зоны и завалы. Должны соблюдаться допустимые минимальные и максимальные скорости движения воздуха в выработках. Все очистные забои по возможности должны проветриваться за счет общешахтной депрессии, то есть сквозными струями без применения вспомогательных подземных вентиляторов.

5.4. Схемы вентиляции выемочных участков

В процессе ведения горных работ из полезного ископаемого и горных пород, а также в результате взрывных работ выделяются вредные газы, тепло и руд-

ничная пыль. Основная задача вентиляции – обеспечить в выработках необходимый расход воздуха для нормальной физиологической деятельности человека, разбавление и вынос вредных газов и пыли, нормальные тепловые условия. Параметры воздушного потока (расход воздуха и скорость его движения, турбулентность) должны обеспечивать решение этой задачи.

Под выемочным участком понимается система выработок, включающая очистной забой, откаточные и вентиляционные выработки и примыкающее к ним выработанное пространство. На угольных и рудных шахтах наиболее интенсивное выделение вредных веществ происходит в очистных выработках.

Источники газовой выделенности на выемочных участках являются пространственно распределенными: газы выделяются из нетронутого массива и разрушенных горных пород. Условно выделяют три основных источника: свежее обнаженная поверхность массива, отбитая горная масса и выработанные пространства. Характер газовой выделенности из этих источников один и тот же, различна их интенсивность и временные масштабы.

Эффективность проветривания очистных выработок в значительной степени зависит от схемы вентиляции. Схемой вентиляции участка называется план горных работ с нанесенным направлением движения свежей и исходящей струй (при необходимости наносятся также пути и направления утечек воздуха).

По *форме взаимного соединения* воздухоподающих, очистных и вентиляционных выработок схемы вентиляции выемочных участков подразделяются на U-образные, Z-образные, Y-образные и H-образные.

По *степени обособленности разбавления* вредных веществ, выделяющихся из разных источников, схемы вентиляции участков делят на 3 класса:

- с последовательным разбавлением вредностей по источникам их поступления;
- с полностью обособленным разбавлением вредностей;
- с частично обособленным разбавлением вредностей.

Схемы вентиляции с последовательным разбавлением вредностей (U-образные) наиболее просты (рис. 5.6), требуют минимального количества выработок. Поскольку свежий и отработанный воздух движется при таких схемах в противоположном направлении, эти схемы являются возвратноточными.

При столбовой системе разработки исходящая струя воздуха выдается на массив угля (рис.5.6, а). Свежий воздух подается по откаточному штреку, распределяется между очистным забоем и выработанным пространством и отводится по вентиляционному штреку.

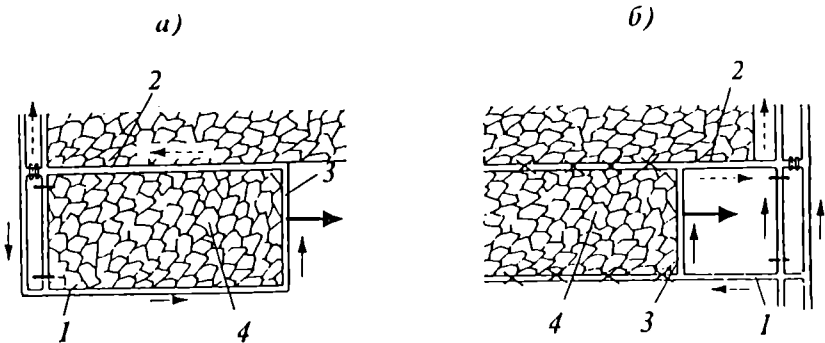


Рис. 5.6. Схемы вентиляции выемочных участков с последовательным разбавлением вредностей: 1, 2 – соответственно откаточный и вентиляционный штрек; 3 – лава; 4 – выработанное пространство

Достоинствами схемы являются относительно малые утечки воздуха через выработанное пространство, надежность, возможность дегазации разрабатываемого пласта скважинами.

Основной недостаток схемы – концентрированный вынос метана из выработанного пространства в верхнюю часть лавы и на вентиляционный штрек, что не позволяет применять ее в условиях газовыделения из выработанного пространства более 3 м³/мин.

При сплошной системе разработки исходящая струя выдвигается на выработанное пространство (рис. 5.6, б). При этом метан выносится утечками рассредоточенно по всей длине вентиляционного штрека. Но утечки через выработанное пространство могут составлять 60–80 %, то есть в очистной забой поступает незначительное количество воздуха.

К недостаткам U-образной схемы относятся также значительное изменение депрессии участка в процессе отработки столба, выделение метана из транспортируемого угля в свежую струю и запыленность поступающей струи.

Схемы вентиляции с обособленным разбавлением метана, поступающего из различных источников (рис. 5.7), применяют в газовых шахтах с высокой газообильностью выработанного пространства (>3 м³/мин) и разрабатываемых пластов, а также при ведении горных работ на глубоких горизонтах.

Достоинствами этих схем являются: обособленный вынос метана, выделяющегося из разрабатываемого пласта, выработанного пространства и из транспортируемого угля; повышение эффективности дегазации сближенных пластов за счет увеличения срока службы дегазационных скважин, которые бурятся из дополнительной выработки; уменьшение температуры посту-

пающей струи воздуха за счет тепловыделений из местных источников; уменьшение запыленности поступающей струи, так как воздух, подаваемый в лаву, движется не по транспортным выработкам; – повышение безопасности работ за счет дополнительных выходов на свежую струю.

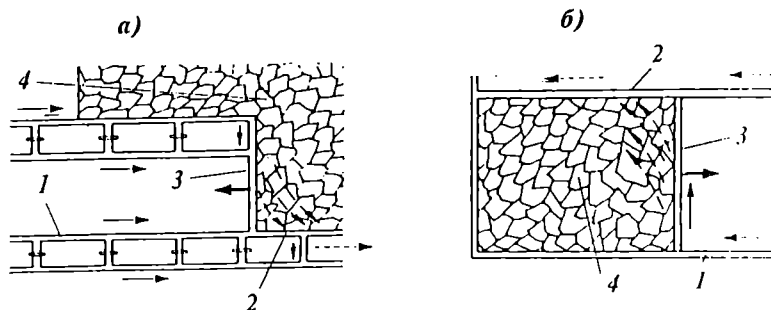


Рис. 5.7. Схемы вентиляции выемочных участков с обособленным разбавлением вредностей: 1, 2 – соответственно откаточный и вентиляционный штрек; 3 – лава; 4 – выработанное пространство

Недостаток схем – необходимость проведения и поддержания большого числа дополнительных выработок.

Схемы вентиляции рудников. Все очистные выработки рудников подразделяются на камерообразные и лавообразные.

К камерообразным относятся выработки большого объема, в которых турбулентные воздушные потоки являются свободными, то есть не имеют твердых границ. Процесс разбавления и выноса вредных примесей свободными турбулентными струями весьма сложен, что

потребовало разработки специфических методов расчета вентиляции камерообразных выработок.

К лавообразным относятся выработки, в которых турбулентный воздушный поток занимает все пространство. В этом случае турбулентные характеристики потока, определяющие интенсивность процесса разбавления и выноса примесей, формируются твердыми границами (стенками) потока. Камерообразные выработки проветриваются путем подачи воздуха по одной или нескольким выработкам или трубам. Группы камерообразных выработок могут проветриваться *последовательно, параллельно и последовательно-параллельно* (рис. 5.8). Лавообразные очистные выработки в рудных шахтах

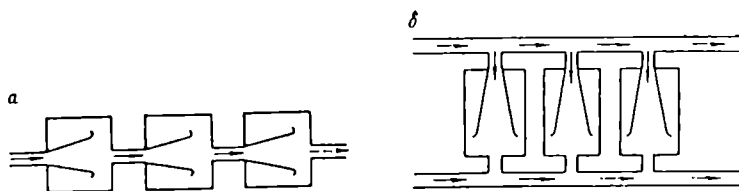


Рис. 5.8. Схемы последовательного (а) и параллельного (б) проветривания группы камерообразных выработок

проветриваются такими же способами, как и в угольных шахтах. В рудных шахтах применяются различные, в основном не типовые схемы проветривания очистных забоев.

При сплошной системе разработки проветривание камер осуществляется за счет общешахтной депрессии (рис. 5.9).

Воздух подается по панельному штреку, ортам и заездам в призабойное пространство, где работают погрузочно-доставочные, вспомогательные и бурильные

машины. Исходящая струя отводится по вентиляционному орту и далее по вентиляционному штреку. По мере продвижения забоя очистное пространство изолируется перемычками, устанавливаемыми в вентиляционных сбойках.

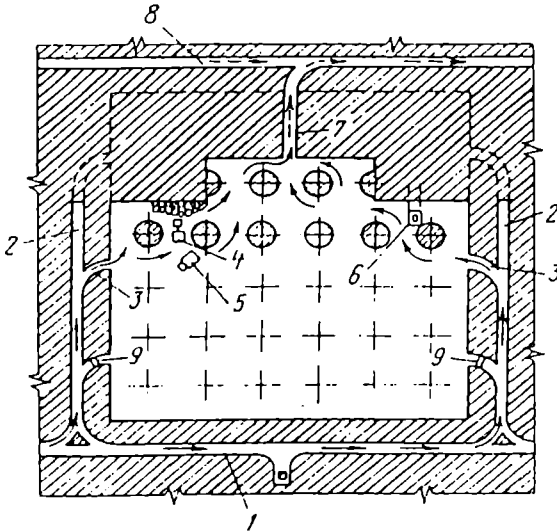


Рис. 5.9. Схема вентиляции очистного блока при сплошной системе разработки: 1 – панельный штрек; 2 – орты; 3 – заезды; 4 – погружно-доставочные машины; 5 – вспомогательные машины; 6 – буровые машины; 7 – вентиляционный орт; 8 – вентиляционный штрек; 9 – перемычки

При различных системах разработки с естественным поддержанием очистного пространства и самотечной доставкой руды схемы вентиляции очистных блоков конструируются в соответствии с условиями залегания рудного тела и поэтому в значительной степени индивидуальны.

5.5. Способы и схемы проветривания тупиковых выработок

Строительство и эксплуатация угольных и рудных шахт связаны с необходимостью проведения большого количества выработок. Так, на действующих угольных шахтах их ежегодно проводится около 7 тыс. км. Длина отдельных выработок достигает 3 км, а расход воздуха, подаваемого для проветривания одной выработки на газовых шахтах, 2000 м³/мин. Нередки ситуации, когда расход воздуха для проветривания тупиковых выработок превышает потребность воздуха для проветривания очистных забоев.

Интенсификация проведения горных выработок, применение производительных машин и механизмов, непрерывное увеличение глубины горных работ и связанное с ним возрастание температуры воздуха и пород, газоносности и газовыделений приводят к тому, что проветривание тупиковых выработок становится все более сложным. На некоторых шахтах суммарная мощность вентиляторов местного проветривания превышает мощность вентиляторов главного проветривания.

Вентиляция выработок за счет общешахтной депрессии. Подача воздуха в забой тупиковых выработок за счет работы вентиляторов главного проветривания осуществляется с применением продольных перегородок, вентиляционных труб, скважин и параллельных выработок. Продольные перегородки применяются тогда, когда к забою нужно подать большое количество воздуха при небольшой длине выработок (≤ 60 м). Они возводятся из прорезиненной ткани (отходы вентиляционных труб), досок, кирпича и др. Основное требование к перегородкам – воздухонепроницаемость. Для борьбы с потерями воздуха перегородки должны покрываться цементным раствором или глиной, торкретбетоном или

пенополиуретаном. Продольные перегородки используются редко.

Для проветривания коротких тупиковых выработок могут использоваться жесткие вентиляционные трубы в сочетании с перемычкой. Так как сопротивление труб достаточно велико, этот способ также применяется сравнительно редко. В зависимости от конкретных условий по трубе может подаваться свежий воздух или удаляться загазованный.

Проветривание с использованием параллельных выработок применяется тогда, когда выработка большой длины проводится по полезному ископаемому и для ее проветривания требуется подавать значительное количество воздуха. В этом случае рядом с основной проводится вспомогательная выработка. Через определенные промежутки (10-20 м) выработки сбиваются между собой (рис. 5.10).

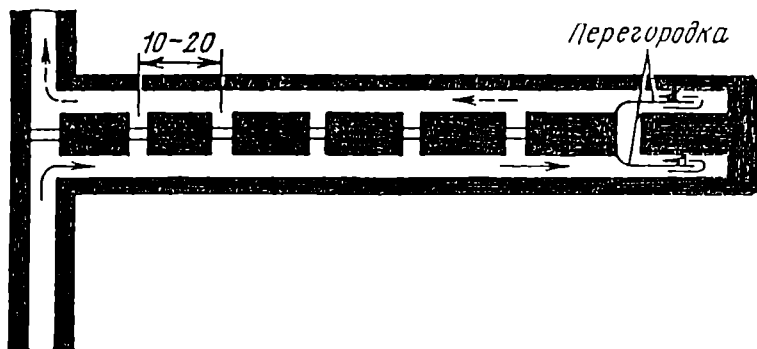


Рис. 5.10. Схема проветривания тупиковой выработки за счет общешахтной депрессии с применением параллельной вспомогательной выработки

В сторону забоев свежий воздух движется по основной выработке. Для подачи воздуха к забоям используются продольные перегородки, вентиляционные

трубы или вентиляторы местного проветривания. Проветривание тупиков может осуществляться за счет общешахтной депрессии при условии, что длина перегородки и вентиляционных труб не превышает 60 м. По мере проведения новых сбоек между выработками в старых сбойках должны возводиться перемычки, покрываемые воздухонепроницаемыми составами. Вместо сбоек можно бурить скважины большого диаметра. Старые скважины при этом должны тщательно герметизироваться.

Основное достоинство всех перечисленных способов подачи воздуха в тупиковые забои за счет общешахтной депрессии – непрерывность действия вентиляции в течение суток и отсутствие в выработке механических побудителей тяги, что обеспечивает надежность и безопасность работ.

Вентиляция выработок с использованием вентиляторов местного проветривания. В зависимости от условий проходки применяют следующие способы вентиляции: нагнетательный, всасывающий и комбинированный.

Нагнетательный способ проветривания (рис. 5.11) наиболее распространен. На газовых шахтах он является обязательным и единственным. К достоинствам его относится то, что, во-первых, проветривание призабойного пространства осуществляется дежательной струей свежего воздуха, выходящего из трубопровода с большой скоростью, и во-вторых, – то, что в призабойное пространство, где имеет место максимальное газовыделение и находятся люди, поступает свежий воздух (не содержащий метана), что облегчает создание безопасных условий труда.

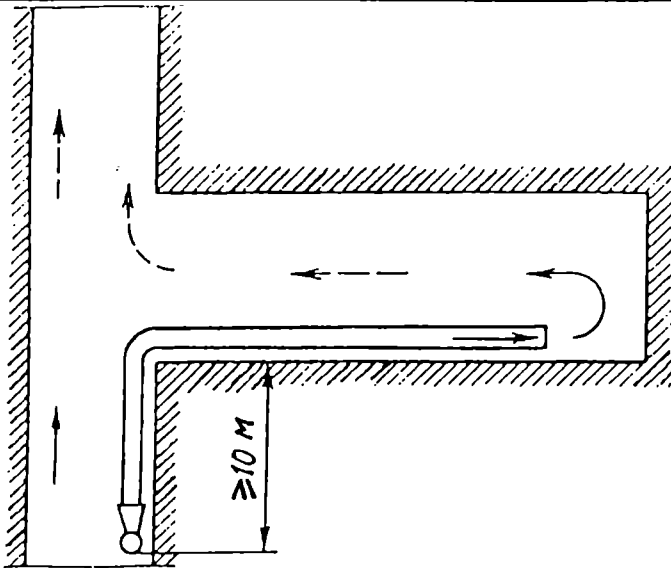


Рис. 5.11. Схема проветривания выработок нагнетательным способом

Если подача нагнетательного вентилятора, установленного на сквозной выработке, больше расхода подаваемого по ней воздуха, то часть исходящего воздуха будет вновь засасываться вентилятором и направляться по трубопроводу в забой. Такое явление носит название *рециркуляции* воздуха. Последняя часто вызывает отрицательные последствия (увеличивает время проветривания и создает опасность загазования выработок). Для предотвращения рециркуляции вентилятор должен устанавливаться на расстоянии ≥ 10 м от устья проветриваемой выработки. При этом подача вентилятора должна быть ≤ 70 % расхода воздуха, движущегося по сквозной выработке, а скорость движения воздуха у вентилятора должна быть $\geq 0,25$ м/с, то есть

$$\frac{Q - Q_B}{S_B} = 0,25, \quad (5.6)$$

где Q – расход воздуха, проходящего по выработке за счет общешахтной депрессии, м³/с; Q_B – подача нагнетательного вентилятора, м³/с.

Недостаток нагнетательного способа проветривания заключается в том, что при ведении взрывных работ ядовитые газообразные продукты взрыва движутся по выработке. Поэтому люди могут войти в выработку только тогда, когда содержание ядовитых газов в ней в пересчете на условную окись углерода составляет 0,008 % по объему.

По Правилам безопасности на газовых угольных шахтах конец трубопровода должен располагаться на расстоянии от забоя ≤ 8 м, а в негазовых и рудных шахтах – на расстоянии ≤ 12 и ≤ 10 м соответственно.

Всасывающий способ проветривания (рис. 5.12) применяется на угольных и рудных шахтах, не опасных по газу. Достоинство его заключается в том, что несвежий воздух отводится из призабойного пространства по трубопроводу, а так как свежий воздух поступает к забою по выработке, то большая ее часть незагазована. При правильно организованном проветривании объем, из которого удаляются вредности, равен произведению площади поперечного сечения выработки на длину зоны отброса газа. При прочих равных условиях он остается постоянным и не зависит от длины выработки, поэтому при всасывающем способе проветривания количество воздуха, которое необходимо подавать для проветривания, меньше, чем при нагнетательном.

Основной недостаток этого способа проветривания заключается в трудности выдерживания требуемого по ПБ расстояния от конца трубопровода до забоя, так

как конец трубопровода находится в зоне разлета кусков породы и вероятность его повреждения весьма высока. При этом способе проветривания применяется жесткий трубопровод.

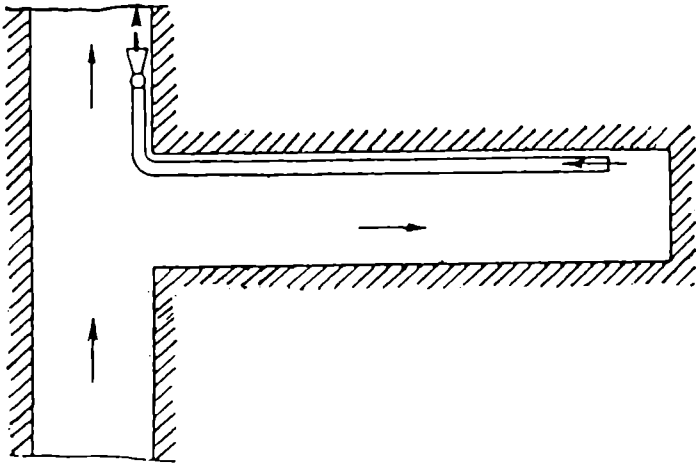


Рис. 5.12. Схема проветривания выработок всасывающим способом

Комбинированный способ проветривания чаще применяется при скоростной проходке на негазовых шахтах. В нем сочетаются достоинства нагнетательного способа (активное перемешивание газов в призабойной зоне) и всасывающего (ограниченный объем проветривания). При комбинированном способе проветривания используется один или два вентилятора (рис. 5.13). В случае использования одного вентилятора он работает вначале на всасывание, а после удаления газового облака из забоя по трубопроводу в исходящую струю вентилятор переключается на нагнетание. При использовании двух вентиляторов основной вентилятор устанавливает-

ся вблизи устья выработки (на расстоянии $\geq 10\text{м}$) и работает на всасывание. Второй вентилятор (вспомогательный) снабжается коротким нагнетательным трубопроводом и устанавливается в выработке вблизи забоя. Подача нагнетательного вентилятора должна быть на 20–30 % меньше количества воздуха, которое поступает во всасывающий трубопровод.

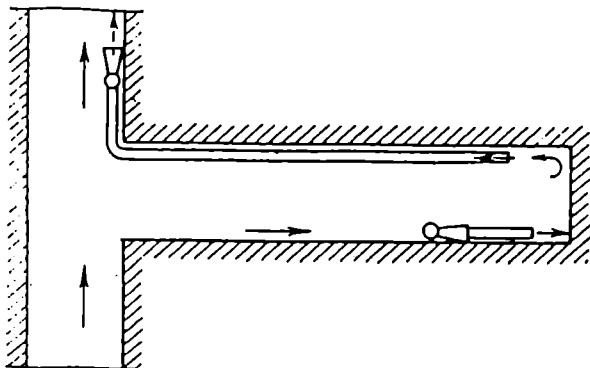


Рис. 5.13. Схема проветривания выработок нагнетательно-всасывающим способом

5.6. Средства проветривания шахт

Вентиляторы главного проветривания. Для проветривания шахтных стволов, околоствольных выработок и выработок большой длины в период проходки используются осевые вентиляторы с рабочим колесом большого диаметра, центробежные вентиляторы ВЦПД-8, ВЦП-16, ВЦ-7, ВМЦ-8 и вентиляторы типа ВЦО. Вентилятор ВЦПД-8 с двухсторонним всасом имеет направляющий аппарат и ступенчатое переключение электродвигателя. Вентилятор ВЦП-16 имеет односторонний всас и работает с низким уровнем шума. Его подача регулируется на ходу механизмом поворота лопаток на-

правляющего аппарата. Вентилятор ВЦ-7 одностороннего всасывания имеет прямоточное движение воздушного потока. Он удобно монтируется без устройства специальных ниш для его расположения. Производительность по воздуху современных вентиляторов достигает 600 м³/с, а депрессия центробежных – до 900 даПа, осевых - до 400 даПа.

Вентиляторы местного проветривания. Для проветривания тупиковых выработок чаще используются осевые вентиляторы местного проветривания с электрическим и пневматическим приводами. Наибольшее применение нашли осевые вентиляторы СВМ-4М, СВМ-5, СВМ-6М, ВМ-3М, ВМ-4М, ВМ-5М, ВМ-6М, ВМ-8М, ВМ-12М (цифра означает размер входного и выходного патрубков в дм). Производительность вентиляторов достигает 30 м³/с, а депрессия - 600 ДаПа. Подача регулируется с помощью направляющего аппарата с резиновыми профилированными лопатками, поворачивающимися специальным механизмом на угол от +45° до -50°. Взрывобезопасное исполнение двигателей этих вентиляторов позволяет применять их в шахтах, опасных по газу и пыли.

Вентиляторы СВМП-3М, ВМП-4, ВМП-5М, ВМП-6М (с пневматическим приводом) предназначены для проветривания тупиковых выработок в шахтах, опасных по внезапным выбросам угля и газа и сульфурным выделениям. Подача вентиляторов типа ВМП регулируется с помощью сопел, подающих сжатый воздух на лопатки пневматического привода.

Вентиляционные трубопроводы. Тупиковые выработки и их тупиковые части, проходимые парными забоями, проветриваются по трубам за счет работы вентиляторов местного проветривания с электрическим или пневматическим приводом. На угольных и рудных шах-

тах применяются как жесткие, так и гибкие трубы. Жесткие трубы выполняются из металла и синтетических материалов. Они обладают большой прочностью, длительным сроком службы и применяются как при нагнетательном, так и при всасывающем проветривании. К недостаткам жестких труб следует отнести большую массу, трудность транспортирования, относительно большое число стыков, что усложняет монтаж и приводит к большим утечкам воздуха.

Металлические трубы диаметром 0,3-1,0 м и более изготавливаются из листовой стали толщиной 2,0 и 2,5 мм. Звенья труб имеют длину 2,5-4,0 м и соединяются между собой фланцевым болтовым соединением с прокладкой в стыке.

Гибкие трубы используются при работе вентилятора в нагнетательном режиме. При использовании спиральных колец жесткости гибкие трубы могут применяться при работе вентилятора и в нагнетательном, и во всасывающем (при депрессии до 500 мм) режимах. На угольных и рудных шахтах используются гибкие трубы типов МУ (из хлопчатобумажной ткани чефер с двусторонним покрытием из негорючей резины), ПХВ (из ткани чефер с полихлорвиниловым двусторонним покрытием), ТНР и ЧЛХР (из комбинированной ткани, состоящей из лавсана и хлопка с резиновым двусторонним покрытием), ЧЛХВ (из лавсанохлопковой ткани с полихлорвиниловым покрытием) и ЧЛВУ (из ткани, содержащей углен, обладающий антистатическим свойством). Диаметр труб 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0 м. Длина основного рабочего звена равна 10 и 20 м соответственно для труб диаметром $\leq 0,8$ и $> 0,8$ м. Разменные звенья выпускаются длиной 5 и 10 м. Звенья соединяются пружинящими стальными кольцами и хомутами. При включении вентилятора стык самоуплотняется.

С целью уменьшения шероховатости и воздухопроницаемости гибких и жестких труб в них рекомендуется помещать тонкостенные эластичные полиэтиленовые трубы немного меньшего диаметра, чем диаметр основного трубопровода. Под действием статического напора вентилятора полиэтиленовые трубы распрямляются и делают внутреннюю поверхность трубы гладкой, что обеспечивает уменьшение сопротивления трубопроводов в 2–3 раза, а утечки воздуха почти исключаются.

Вентиляционные трубопроводы характеризуются аэродинамическим сопротивлением и воздухопроницаемостью. Аэродинамическое сопротивление трубопровода ($H \cdot c^2/m^8$) определяют по формуле

$$R = \alpha \cdot P_T L_T / S_T^3, \quad (5.7)$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления, $H \cdot c^2/m^8$; L_T – длина трубопровода, м; P_T – периметр трубопровода, м; S_T – площадь поперечного сечения трубопровода, m^2 .

Коэффициент аэродинамического сопротивления зависит от шероховатости и диаметра труб, а также от степени натяжения стенок (для гибких труб). Для металлических труб $\alpha = 0,0025 \div 0,0037$, для гибких труб типа МУ $\alpha = 0,0046 \div 0,0048$.

При ухудшении качества монтажа трубопроводов аэродинамическое сопротивление возрастает. При недостаточном статическом давлении гибкие трубопроводы провисают, что также ведет к увеличению аэродинамического сопротивления. При слабом натяжении труб аэродинамическое сопротивление при расчетах следует увеличивать на 25 %.

5.7. Естественная вентиляция карьеров

Силы, формирующие движение воздуха в карьере. Естественная вентиляция карьера осуществляется под действием естественных причин и обусловлена действием тех же сил, что и естественная вентиляция производственных помещений: ветрового напора и архимедовых сил, возникающих в результате неравномерности нагрева воздуха в объеме карьера (термические силы).

Энергия ветра является основным фактором, обеспечивающим естественное движение воздуха в карьере. Но по мере углубления работ его значение уменьшается. Опыт показывает, что эффективное проветривание за счет энергии ветра возможно только до глубины 200 м.

Термические силы появляются в результате подогрева или охлаждения отдельных объемов воздуха, вследствие чего плотность этих объемов становится отличной от плотности окружающей среды, при этом возникает выталкивающая сила. Термическая сила зависит главным образом от разности температур различных объемов воздуха, то есть от интенсивности теплоисточников, действующих в карьере, и в первую очередь – от инсоляции (облучения солнцем). При различной освещенности поверхности между отдельными зонами внутрикарьерного пространства могут быть небольшие (до 50 Н/м^2) разности статических давлений, возникающие вследствие разности весов находящихся над ними масс воздуха.

При массовых взрывах в карьерах энергия импульса, получаемого воздухом в результате взрыва, может быть достаточной для выноса из карьера значительных количеств газов и пыли.

Схемы естественного проветривания карьеров. Все состояния атмосферы карьера, формирующиеся под

действием естественных сил, можно свести к нескольким основным схемам, называемым схемами проветривания карьера.

Схема проветривания карьера – графическое или аналитическое описание усредненных во времени процессов движения воздуха и выноса вредностей из карьера воздушными потоками. Выделяют четыре основные схемы естественного проветривания: формирующиеся главным образом за счет энергии ветра *прямоточную* и *рециркуляционную*, формирующиеся за счет энергии термических сил *конвективную* и *инверсионную*. Возможны также различные их комбинации.

Наиболее эффективно проветривается карьер при применении энергии ветра с достаточно высокими его скоростями. В этом случае в карьере образуется либо свободная, либо полуограниченная струя, обеспечивающая эффективный вынос вредностей из карьера (рис. 5.14). Свободная струя образуется при большом угле откоса борта карьера и поэтому встречается чаще, чем полуограниченная.

Схема проветривания свободной струей называется *рециркуляционной*, поскольку наличие обратной струи в зоне ОВС приводит к многократной циркуляции (рециркуляции) некоторой части воздуха в объеме карьера. При этом свободная струя АОВ будет приносить к борту ВО вредности, выделяющиеся на участке ОСВ и заносимые в струю рециркуляционным потоком. Часть этих вредностей будет вновь поступать в зону ОВС, что со временем может привести к накоплению в ней значительных количеств вредностей. По этой причине зоны, подобные ОВС, называются застойными, или мертвыми.

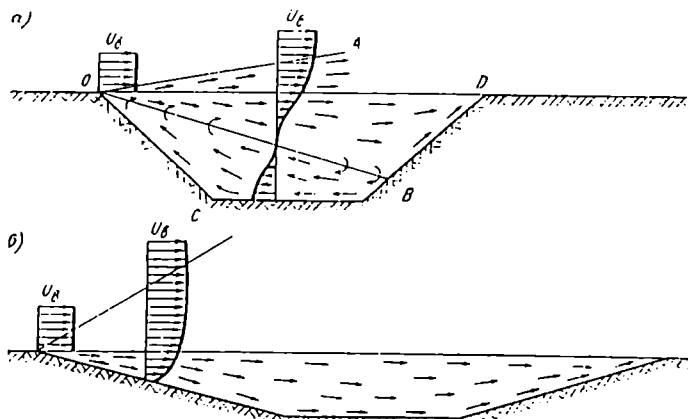


Рис. 5.14. Схемы проветривания карьера энергией ветра: а – рециркуляционная; б – прямоточная

Схема проветривания с полуограниченной струей называется **прямоточной**, так как воздух в объеме всего карьера движется в одном направлении. Эта схема более эффективна в связи с тем, что она не имеет застойных зон и скорость воздуха в карьере мало отличается от скорости воздуха $u_в$ на поверхности. Прямоточная схема проветривания возникает при скорости ветра на поверхности более 0,8–1,0 м/с и пологих углах откоса подветренного борта карьера (до 15°).

При отсутствии ветра или малой его скорости движение воздуха в карьере формируется под действием термических объемных сил (объемными называются силы, действующие на каждую частицу воздуха, – силы тяжести, инерции и др.). Рассмотрим основные схемы движения (рис. 5.15).

Воздух в карьере подогревается нагретыми поверхностями (борта, дно); последние могут нагреваться солнцем, за счет протекания окислительных процессов, эндогенным теплом горных пород. В этом случае приле-

гающие к ним слои воздуха становятся более легкими и поднимаются к поверхности, двигаясь вдоль бортов. Этот поток выносит из карьера вредности. Такая схема называется **конвективной** (от латинского *convectio* – перенесение; имеется в виду термическая конвекция). Эффективность проветривания карьера при этой схеме низкая. Конвективная схема образуется при следующих условиях: скорость движения воздуха на поверхности – не более 0,7–0,8 м/с; вертикальный градиент температуры воздуха в карьере должен превышать значение, соответствующее безразличному состоянию атмосферы (+1°C на 100 м), что вызывает появление восходящих конвективных потоков воздуха.

При охлаждении воздуха с глубиной разработки (температурный градиент менее адиабатического) последний становится более тяжелым и, стремясь занять более низкое положение, опускается на дно карьера. При этом на дно заносятся и все вредности, выделяющиеся на уступах вышележащих горизонтов. Постепенно глубокие участки карьера (или даже весь карьер) заполняются большим количеством вредностей, препятствующих безопасному ведению работ. Такая схема движения воздуха называется **инверсионной** (от латинского *inversio*). Инверсионная схема формируется при малых скоростях ветра (до 0,7–0,8 м/с) и охлаждении бортов карьера. При инверсионной схеме движения воздуха вынос вредностей из карьера практически не происходит. В этом случае следует говорить не о проветривании карьера, а о его отсутствии. При работе неоднократно наблюдались случаи значительного загрязнения атмосферы карьеров и прекращения работ (иногда на длительный период) вследствие инверсий.

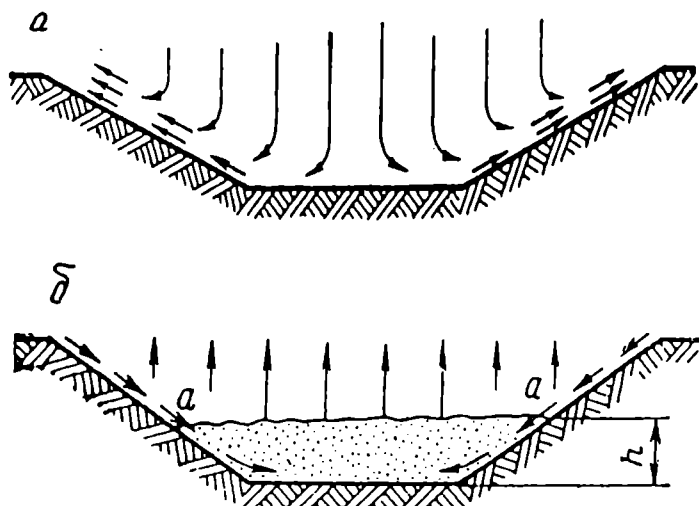


Рис. 5.15. Схемы проветривания карьера энергией термических сил: *a* – конвективная; *б* – инверсионная

Кроме отмеченных четырех основных схем проветривания карьеров могут возникать различные их комбинации (рис. 5.16). Например, рециркуляционно-прямоточная схема (рис. 5.16, *a*): одна часть карьера у подветренного борта проветривается по рециркуляционной схеме, вторая, где свободная струя достигает дна и движется вдоль него, – по прямоточной; инверсионно-конвективная схема (рис. 5.16, *б*): по одному – тепловому – борту воздух поднимается, по другому – холодному (теновому) – опускается; прямоточно-рециркуляционная схема (рис. 5.16, *в*) и др.

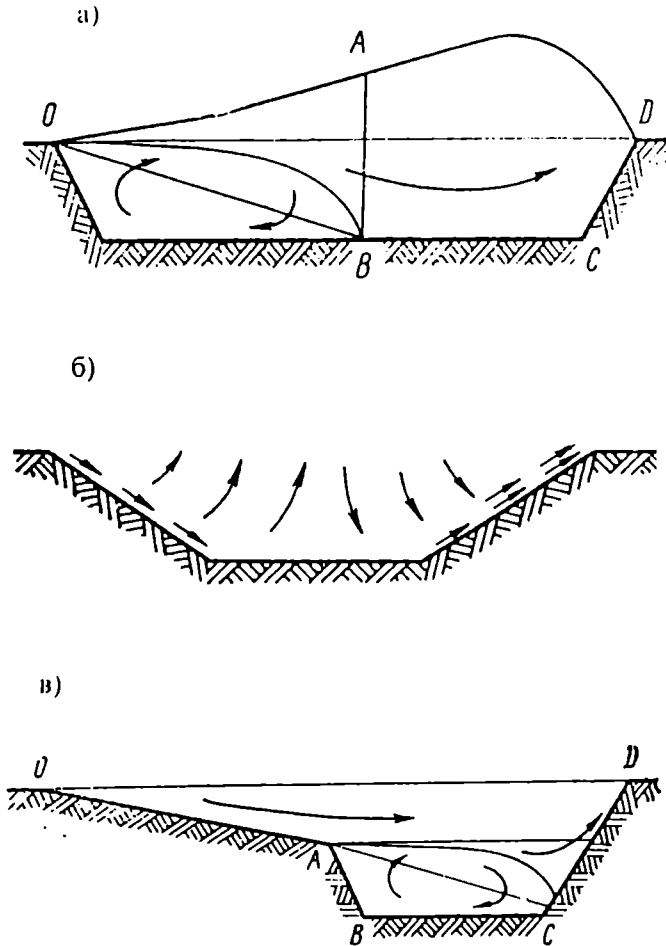


Рис. 5.16. Комбинированные схемы естественного проветривания карьера: а — рециркуляционно-прямоточная; б — инверсионно-конвективная; в — прямоточно-рециркуляционная

5.8. Искусственная вентиляция карьеров

Искусственная вентиляция карьеров необходима в тех случаях, когда естественное проветривание не обеспечивает нормальных санитарно-гигиенических параметров воздуха рабочей зоны. Под *искусственной вентиляцией карьера* понимают интенсификацию воздухообмена в нем любыми целенаправленными действиями человека.

На практике установлено, что недопустимое загрязнение атмосферы карьера наступает через 1–2 часа после установления в нем устойчивого состояния атмосферы (при малых скоростях ветра и вертикальных градиентах $\Gamma < 1^\circ\text{C}/100\text{м}$ или, в еще большей степени, при $\Gamma < 0$). Повышение интенсивности выделения вредностей при существующих технологических процессах в карьерах обычно связано с ведением взрывных работ, при которых в атмосферу выбрасывается большое количество ядовитых газов и пыли, что в сочетании с устойчивым состоянием атмосферы может привести к сильному загрязнению карьера.

Все способы искусственной вентиляции разделяются на два класса: способы *интенсификации естественного воздухообмена* и способы *собственно искусственной вентиляции*.

К первому классу относятся:

- выбор правильной ориентации карьера в плане;
- выбор наиболее рациональных по фактору проветривания размеров карьера (углов откоса бортов, глубины, размеров в плане);
- создание на поверхности у карьеров искусственных сооружений, способствующих увеличению скорости и турбулизации ветрового потока;

- изменение окраски обнажений горных пород на поверхностях;
- аккумуляция тепла в специальных резервуарах;
- использование глубинного тепла горных пород.

Ко второму классу относятся:

- вентиляция с помощью труб и выработок;
- вентиляция свободными изотермическими и неизотермическими струями, создаваемыми вентиляторами;
- вентиляция конвективными струями, создаваемыми специальными установками (источниками тепла).

Изотермическими называются свободные воздушные струи, температура которых равна температуре окружающего воздуха. *Неизотермическими* называются свободные воздушные струи, температура которых отличается от температуры окружающего воздуха.

Искусственная вентиляция карьеров подразделяется также на *местную* и *общеобменную*. Местная вентиляция применяется для очистки атмосферы относительно небольших объемов внутрикарьерного пространства (отдельные забои, блоки, тупиковые траншеи, пункты перегрузки и т.п.). При этом используются вентиляторные установки небольшой мощности. Общеобменная вентиляция обеспечивает очистку атмосферы во всем объеме карьера (или значительных его частей). Она может осуществляться *активными* способами: с помощью мощных установок, создающих струи, распространяющиеся на сотни метров, расход воздуха в которых достигает тысяч кубических метров в секунду, и *пассивными*: путем интенсификации естественного воздухообмена.

Активные средства проветривания применяют лишь при штилевых или инверсионных состояниях атмосферы на поверхности. Включение их в работу должно производиться до накопления вредностей в карьере, чтобы предупредить образование опасных их скоплений. Кроме того, это сокращает время, необходимое для вентиляции карьера.

Интенсификация естественного воздухообмена. Интенсифицировать воздухообмен в карьере можно ориентацией его длинной оси в плане по направлению господствующего ветра, если позволяет залегание полезного ископаемого и рельеф местности. Кроме того, интенсификация проветривания достигается ориентацией траншей и съездов по направлению господствующих ветров. При совпадении оси траншеи с направлением ветра траншея становится как бы воздухопроводящим каналом, способствующим поступлению воздуха с поверхности.

Геометрические размеры карьера также влияют на его воздухообмен. Важнейшим фактором является глубина работ: чем она больше, тем меньше скорость воздуха у дна карьера и, следовательно, хуже воздухообмен. Интенсивность воздухообмена определяется отношением глубины карьера H к его длине в направлении действия ветра L . Чем меньше это отношение, тем более плоским и легкопроветриваемым является карьер. По величине этого отношения карьеры относят к мелким (при $H/L \leq 0,1$); средней глубины (при $0,1 < H/L < 0,2$) или глубоким ($H/L \geq 0,2$). При $H/L \geq 0,3$ все нижние горизонты находятся в зоне рециркуляции.

Уменьшение угла откоса и скругление верхней части борта способствует уменьшению зоны рециркуляции, то есть увеличивает воздухообмен.

Проветривание карьера также можно улучшить при возведении на его поверхности перед карьером с наветренной стороны отвалов или зданий, направляющих и турбулизирующих ветровой поток. Для этой же цели можно использовать специальные воздухонаправляющие щиты на верхней бровке борта с наветренной стороны, позволяющие сохранить прямоточную схему проветривания при углах откоса уступов до 50° .

Изменение окраски поверхностей карьера достигается путем нанесения слоев асфальта, битума и т.п. Эта мера позволяет увеличить разность температур между почвой и воздухом в дневное время в 2-4 раза по сравнению с необработанной поверхностью. Дополнительное прогревание воздуха происходит за счет повышения поглощающей способности темных покрытий и аккумуляцией в них дополнительного количества тепла.

Увлажнение поверхностей карьера при орошении для борьбы с пылью, при выделении грунтовых вод или выпадении осадков в летний период способствует охлаждению поверхностей в карьере (вследствие затрат тепла на испарение) и соответственно охлаждению воздуха, что может ухудшить воздухообмен. В осенний период по мере снижения температуры воздуха увлажнение, наоборот, вызывает нагрев прилегающих воздушных слоев и улучшает конвективный воздухообмен.

Для аккумуляции тепла в специальных резервуарах используются металлические баки с водой (вода, прогреваемая днем, отдает тепло воздуху в ночное время, уменьшая опасность появления ночных инверсий).

Для использования глубинного тепла горных пород Н.З.Битколовым предложено проводить на некотором расстоянии от поверхности подземные выработки и пропускать по ним атмосферный воздух. При контакте

со стенками выработок воздух будет нагреваться и при поступлении в карьер - способствовать интенсификации его проветривания. В отдельных случаях возможно использование для этих целей и тепла подземных вод.

Перечисленные способы интенсификации естественного воздухообмена в карьерах применяются при увеличении глубины разработки более 200 м. Однако эффективность этих способов небольшая.

Искусственная вентиляция с помощью специальных технических средств. Вентиляция с применением труб или выработок предусматривает соответственно прокладку по бортам карьера трубопроводов или проведение подземных выработок с поверхности к бортам (дну), как показано на рис. 5.17. В таких схемах, как правило, используется нагнетательный способ, что позволяет подавать чистый воздух непосредственно в зону загрязнения и обеспечивать быстрое ее проветривание.

В целом вентиляция указанными способами малоэффективна из-за ограниченности подачи воздуха по воздухопроводам. Проведение специальных выработок к тому же требует значительных затрат на их проведение и поддержание, что усугубляется постоянным перемещением рабочих мест.

Вентиляция карьеров свободными струями осуществляется следующими техническими средствами:

- мощными установками на базе вентиляторов (как шахтных – “Проходка”, ВМ, так и специальных карьерных – типа ПВУ-6, монтирующихся на передвижных платформах), применяемых для местного проветривания;
- установками на базе авиационной техники (турбовинтовых и турбореактивных авиадвигателей, несущих винтов вертолетов), которые в зависимости от мощности двигателей могут использо-

- ваться как для местной, так и для общеобменной вентиляции;
- тепловыми установками (“метеотронами”), создающими конвективные воздушные струи, образуемые свободно поднимающимися массами воздуха, который нагревается при сжигании топлива в специальных устройствах; эти установки достаточно просты, малозумны, используются для общеобменной вентиляции, но при инверсионных состояниях могут ухудшать воздухообмен вследствие загрязнения атмосферы карьера продуктами сгорания.

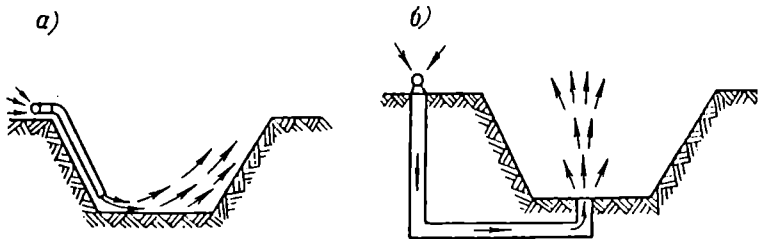


Рис. 5.17. Схемы проветривания карьера нагнетательным способом: *а* – с применением труб; *б* – с использованием выработок

По температуре создаваемых свободных воздушных струй различают вентиляцию изотермическими и неизотермическими струями. Строго говоря, любой двигатель подогревает проходящий воздух. Поэтому все воздушные струи, создаваемые как установками на базе вентиляторов, так и тепловыми, являются неизотермическими, но отличающимися по степени нагрева. Условно к изотермическим относят струи с незначительным перегревом – в десятки градусов, к неизотермическим – с перегревом в сотни градусов. Изотермические струи соз-

даются установками небольшой мощности на базе вентиляторов или авиационных винтов. Неизотермические – мощными установками на основе турбовинтовых и турбореактивных двигателей, а также тепловыми установками.

По эффективности и экономичности более предпочтительна вентиляция изотермическими струями: затраты мощности на единицу объемного расхода воздуха в изотермических струях меньше, чем в неизотермических; дальнобойность изотермических струй не зависит от температурной стратификации атмосферы карьера. Тогда как параметры неизотермических струй существенно меняются в зависимости от температурных условий в карьере, особенно при инверсионных состояниях атмосферы. Так, конвективные струи прекращают свое существование при охлаждении до температуры окружающего воздуха.

Схемы искусственной вентиляции карьеров. Все схемы искусственной вентиляции карьеров подразделяются на две группы: без удаления загрязнений на поверхность за пределы карьера и с удалением вредностей из карьера. Первые применяются при местных загрязнениях и незначительных объемах загрязнений. Обычно это схемы местной вентиляции. Вторая группа схем применяется при высоких концентрациях и объемах загрязняющих примесей, когда их рассеивание в атмосфере карьера привело бы к общему ее загрязнению без существенного улучшения условий на рабочих местах. Такие схемы являются основными при общих загрязнениях атмосферы карьеров и относятся к общеобменной вентиляции.

Выбор *схемы местной вентиляции* определяется горнотехническими и метеорологическими условиями. Для проветривания небольших зон загрязнения

(экскаваторный забой, пункт перегрузки и т.п.) используются единичные передвижные проходческие установки на базе шахтных проходческих вентиляторов. Вентилятор в данном случае осуществляет две функции: перемещает загрязнения от рабочих мест и рассеивает их в атмосфере карьера.

Для того чтобы обеспечить возможность подачи чистого воздуха в проветриваемую зону, вентилятор должен располагаться вне зоны загрязнения, то есть на верхнем уступе или на специальной ферме. Расстояние от вентилятора до загрязненной зоны должно выбираться таким, чтобы исключалась или сводилась к минимуму рециркуляция загрязненного воздуха. При этом необходимо учитывать направление и скорость ветра.

При взрывных работах применяются следующие схемы вентиляции зоны загрязнения пылегазовым облаком: рассеивание облака горизонтальными или наклонными струями, создаваемыми одной мощной установкой, расположенной вне зоны облака; то же, с использованием нескольких менее мощных установок; рассеивание облака вертикальными струями, создаваемыми установками, расположенными в зоне загрязнения; возможно применение водовоздушных завес.

Схемы общеобменной вентиляции подразделяются на следующие схемы: с использованием изотермических и неизотермических струй, создаваемых установками на базе авиационной техники; с использованием конвективных струй, образуемых тепловыми установками; комбинированные схемы с использованием различных типов струй. Выбор схемы вентиляции зависит от глубины карьера, размеров и формы в плане, характера загрязнений, метеоусловий и типа установок.

Схемы вентиляции одной установкой применяются при небольших размерах карьера (рис. 5.18, а). При

неглубоких карьерах установка располагается на поверхности, при большой глубине – на промежуточной берме, выше зоны рециркуляции. При глубоких и ограниченных в плане карьерах установка должна располагаться на дне карьера и обеспечивать мощную вертикальную струю (рис.5.18, б).

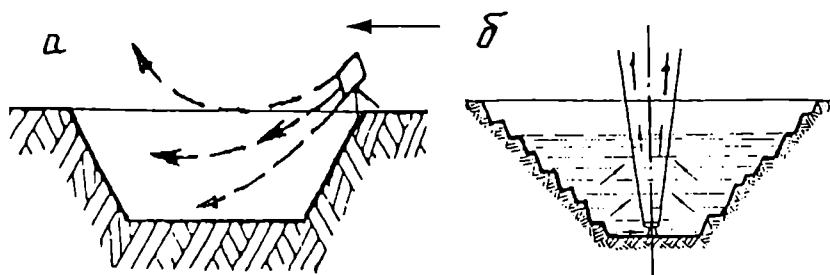


Рис.5.18. Схемы общеобменной вентиляции карьеров: а – вентиляторной установкой; б – тепловой установкой

Схемы вентиляции несколькими установками применяются при больших объемах загрязнений. Различают несколько типов таких схем: с последовательной (каскадной) работой установок (рис. 5.19, а), с параллельной или веерной (рис. 5.19, б) и с комбинированной работой (рис. 5.19, в). Каскадная схема применяется при вентиляции узких, щелеобразных карьеров. Параллельная работа вентиляторов применяется при размерах загрязнений в плане, значительно превышающих поперечные размеры струй. Комбинированные схемы используются в случаях, когда вышеописанные схемы не эффективны.

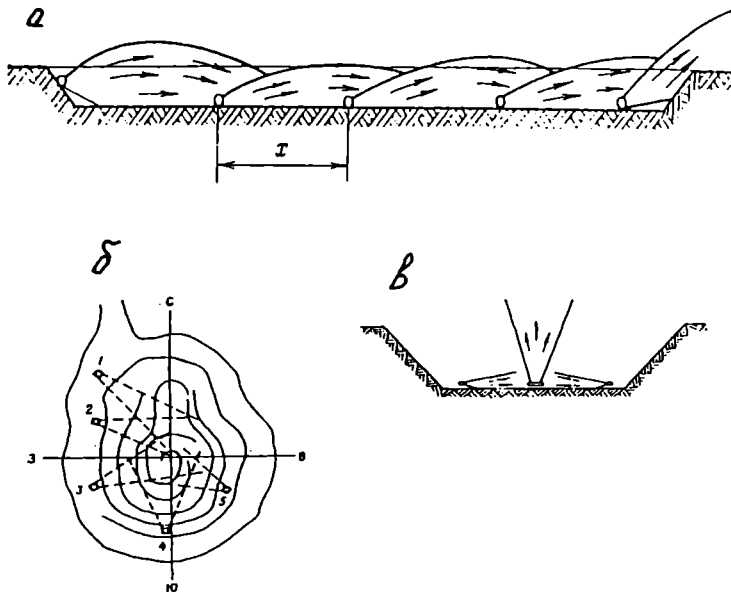


Рис. 5.19. Схемы общеобменной вентиляции карьеров несколькими установками: *a* – последовательная (каскадная); *b* – веерная; *в* – комбинированная

Расстояния между вентиляторными установками выбираются таким образом, чтобы обеспечивалось максимальное в пределах расчетной дальности развитие струй.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Альтшуль А.Л., Киселев П.Г.* Гидравлика и аэродинамика. – М.: Высшая школа, 1975.

2. *Дроздов В. Ф.* Отопление и вентиляция: Учеб. пособие для строит. вузов и фак. по спец. «Теплогазоснабжение и вентиляция». В 2-х ч. Ч. 2. Вентиляция. – М.: Высшая школа, 1984.–263 с.

3. *Крупчатников В.М.* Вентиляция при работе с радиоактивными веществами. – М.: Высшая школа, 1973.

4. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий: Учебное пособие для вузов / В.П.Титов, Э.В.Сазонов, Ю.С.Краснов, В.И.Новожилов. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.

5. *Максимов Г.А., Дерюгин В.В.* Движение воздуха при работе вентиляции и отопления. – Л.: Высшая школа, 1972.

6. *Нестеренко А.В.* Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Высшая школа, 1971.

7. *Пирумов А.И.* Обеспыливание воздуха. – М.: Высшая школа, 1974.

8. *Талиев В.Н.* Аэродинамика вентиляции. – М.: Высшая школа, 1970.

9. *Ужов В.Н., Мягков Б.И.* Очистка промышленных газов фильтрами. – М.: Высшая школа, 1970.

10. *Участкин П.В.* Вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление на предприятиях легкой промышленности. – Л.: Высшая школа, 1980.

11. *Ушаков К.З., Михайлов В.А.* Аэрология карьеров: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1985.

12. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий. Учебник для вузов. – М., Недра, 1987.

13. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы (СанПиН-2.2.4.548-96). - М.: ИИЦ Госкомсанэпиднадзора России, 1996.

14. ГОСТ 12.1.005-88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”.

15. Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.95-91 “Отопление, вентиляция и кондиционирование”.

Нина Олеговна Каледина

ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Режим выпуска «стандартный»

Выпущено в авторской редакции

Компьютерная верстка и подготовка

оригинал-макета *Е.В. Воронцова*

Дизайн серии *Е.Б. Капралова*

Зав. производством *Н.Д. Урбушкина*

Диапозитивы изготовлены в Издательстве МГГУ

Подписано в печать 22.09.2008. Формат 60×90/16.

Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Times».

Печать офсетная Усл. п. л. 12,5.

Тираж 700 экз. Заказ 540

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 062809. Код издательства 5Х7(03)

*Оригинал-макет подготовлен в издательстве
«Горная книга»*

Отпечатано в ОАО «Московская типография № 6»
115088 Москва, ул. Южнопортовая, 24

Магнєвые штампы изготовлены в Первой
Образцовой типографии

**Горное
образование**



119991 Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 6,

Издательство МГГУ;

тел. (495) 236-97-80; факс (495) 956-90-40;

тел./факс (495) 737-32-65