



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**Н.В. Гмызина
Н.А. Сединкина
О.П. Шавакулева**

АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2022

УДК 622.7.016: 622.7.017
ББК 33.4

Рецензенты:

начальник карьера Рудника ГОП ПАО
«Магнитогорский металлургический комбинат»
А.Г. Жуматий

кандидат технических наук,
доцент кафедры ПЭиБЖД
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»
Ю.В. Сомова

Гмызина Н.В., Сединкина Н.А., Шавакулева О.П.

Аэрология горных предприятий [Электронный ресурс]: учебное пособие / Наталья Викторовна Гмызина, Наталья Анатольевна Сединкина, Ольга Петровна Шавакулева; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,42 Мб). – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: IBMPC, любой, более 1GHz; 512 Мб RAM; 10 Мб HDD; MSWindowsXP и выше; AdobeReader8.0 и выше; CD/DVD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с титул. Экрана.

ISBN 978-5-9967-2574-8

Пособие составлено в соответствии с типовой программой дисциплины «Аэрология горных предприятий». Освещены вопросы рудничной вентиляции: шахтная атмосфера, рудничная пыль, микроклимат шахт, технические средства. Даны сведения о дегазации шахт, кондиционировании воздуха, борьбе со скоплениями газов.

Пособие предназначено для студентов специальности 21.05.04 Горное дело (Обогащение полезных ископаемых и Маркшейдерское дело)

УДК 622.7.016: 622.7.017
ББК 33.4

ISBN 978-5-9967-2574-8

© Гмызина Н.В., Сединкина Н.А.,
Шавакулева О.П., 2022

© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», 2022

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ	6
1.1. Атмосферный воздух	6
1.2. Ядовитые газообразные примеси воздуха	6
1.3. Взрывчатые газы	10
1.4. Взрывчатая пыль	14
1.4.1. Угольная пыль	15
1.4.2. Основные меры борьбы со взрывами угольной пыли в шахтах	17
1.4.3. Водные и сланцевые заслоны	18
1.4.4. Сульфидная и серная пыль.....	20
1.5. Микроклимат горных выработок	21
1.5.1. Тепловой режим шахт	22
1.5.2. Меры борьбы с высокими температурами в горных выработках.....	24
1.5.3. Искусственное охлаждение и подогрев воздуха	26
2. ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СЕТИ	28
2.1. Общие сведения.....	28
2.2. Классификация шахтных вентиляционных сетей	29
2.3. Способы и схемы проветривания шахт (рудников)	30
2.4. Схемы вентиляции	33
3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ И СООРУЖЕНИЯ.....	35
3.1. Вентиляторные установки главного проветривания.....	35
3.2. Требования промышленной безопасности к устройству главной вентиляторной установки.....	40
3.3. Вентиляционные сооружения	41
3.4. Регулирование расходов воздуха в горных выработках	45
3.5. Утечки воздуха	47
3.5.1. Утечки воздуха через вентиляционные сооружения.....	47
3.5.2. Утечки воздуха через выработанные пространства	49
3.5.3. Внешние утечки воздуха	50
3.6. Утечки воздуха	50

3.6.1. Проветривание выемочных участков.....	50
3.6.2. Вентиляция тупиковых выработок за счет общешахтной депрессии .	52
3.6.3. Вентиляция тупиковых выработок с использованием вентиляторов местного проветривания.....	53
3.7. Вентиляторные установки местного проветривания	54
4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	58
4.1. Естественная тяга	58
4.2. Шахтные вентиляторы.....	60
4.3. Вентиляция производственных помещений.....	63
5. АЭРОЛОГИЯ КАРЬЕРОВ.....	69
5.1. Источники загрязнения атмосферы карьеров	69
5.2. Естественная вентиляция карьеров	69
5.3. Искусственная вентиляция карьеров	76
5.4. Интенсификация проветривания карьеров.....	80
6. БОРЬБА С МЕТАНОМ МЕТОДАМИ ДЕГАЗАЦИИ	83
6.1. Классификация методов дегазации	83
6.2. Дегазация горных выработок.....	84
6.3. Дегазация при проведении подготовительных выработок.....	87
6.4. Дегазация разрабатываемого пласта скважинами	91
6.5. Дегазация пластов гидроразрывом и гидорасчленением.....	92
6.6. Способы дегазации спутников (сближенных пластов).....	93
6.7. Дегазация выработанных пространств	94
Вопросы для самоконтроля	96
Заключение.....	98
Библиографический список.....	99
Приложение А.....	100
Приложение Б	101
Приложение В.....	103

ВВЕДЕНИЕ

Аэрология горных предприятий (вентиляция) – отрасль горной науки, изучающая свойства атмосферы, законы движения воздуха, перенос его газообразных примесей, пыли и тепла в горных выработках и производственных помещениях, а также технику проветривания.

Вентиляция является основным средством создания благоприятных санитарно-гигиенических условий, повышения уровня безопасности работ на предприятиях по добыче и переработке полезных ископаемых.

В связи с углублением горных работ, интенсификацией производственных процессов увеличивается количество вредностей, поступающих в атмосферу, повышается температура воздуха. В этих условиях роль вентиляции постоянно растёт.

Системы вентиляции современных шахт характеризуются большой протяжённостью выработок, сложностью вентиляционных сетей, большой мощностью главных вентиляторов.

Горные инженеры-обогагатели должны знать нормативные требования к составу и состоянию атмосферы горных предприятий, уметь производить инженерные расчёты по вентиляции, иметь представление об основных законах аэромеханики и основах аэрогазопылединамики.

1. АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

1.1. Атмосферный воздух

Атмосферный воздух – это оболочка, из семи газов и паров, окружающая Землю. До высоты около 20 км над уровнем моря он практически постоянен и состоит (%): O_2 – 20,95; N_2 – 78,08; CO_2 – 0,03; аргон – 0,93; гелий, неон, криптон, ксенон, озон и др. – 0,01.

Кислород – газ без цвета, запаха и вкуса, его относительная плотность – 1,11. В состоянии покоя человек потребляет $350 \text{ см}^3/\text{мин}$ кислорода. При 17% O_2 наблюдается одышка, при 12% – обморочное состояние, 9% – смертельно опасная концентрация. Для человека имеет значение не процентное содержание O_2 , а его количество в единице объема воздуха, которое, в свою очередь, определяется его парциальным давлением. Согласно ГОСТ, содержание O_2 в воздухе рабочей зоны должно быть не менее 20%.

Углекислый газ – без цвета, запаха, имеет слабокислый вкус. Его относительная плотность – 1,52. При 6% CO_2 появляется одышка, при 10% – обморочное состояние, 20 – 25% – смертельно опасная концентрация. Источники увеличения содержания CO_2 в воздухе: окисление древесины и угля, выделение в чистом виде из горных пород, взрывные работы, пожары, дыхание людей. Допустимое содержание CO_2 в воздухе рабочей зоны – 0,5%, на исходящей из шахты – 0,75%, при работах по завалу – 1,0%.

Азот – инертный газ, без цвета, запаха и вкуса, с относительной плотностью 0,97. Может выделяться из угля и пород (азотоносность угольных пластов до $2 \text{ м}^3/\text{т}$). Его содержание в воздухе не регламентировано.

1.2. Ядовитые газообразные примеси воздуха

Наиболее часто встречающимися в горных выработках и в производственных помещениях обогатительных фабрик ядовитыми газами являются: оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x), сернистый газ (SO_2), сероводород (H_2S), аммиак (NH_3), формальдегид ($HCHO$), акролеин (CH_2CHCHO).

Содержание газов в воздухе характеризуется их концентрацией, равной отношению количества данного газа ко всему количеству газовой смеси.

Различают объемную (%) и массовую (мг/л , мг/м^3) концентрации. При известной объемной концентрации ($C_{об}$, %) его массовая концентрация (C_m , мг/л) определяется по формуле:

$$C_m = 0,446 \cdot M \cdot C_{об},$$

где $C_{об}$ – объемная концентрация;

M – относительная молекулярная масса газа.

Краткая характеристика ядовитых газообразных примесей и их предельно допустимые концентрации (ПДК) в воздухе приведены в табл. 1.

При одновременном наличии в воздухе нескольких газов однонаправленного действия их содержание должно удовлетворять условию:
 $C_1/ПДК_1 + C_2/ПДК_2 + \dots + C_n/ПДК_n \leq 1$, (1.2)

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + C_n/ПДК_n \leq 1,$$

где $C_1, C_2, \dots, C_n$ – фактическая концентрация газов; $ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$ – предельно допустимые концентрации соответствующих газов.

Таблица 1

Ядовитые газы

Газ	Относи- тельная плотнос- ть	Цвет	Запах	Вкус	Действие на человека	Смер- тельная концен- трация, %	ПДК % (мг/м ³)	Источники
CO	0,97	-	-	-	Отравляющее вытесняет O ₂	0,4	0,0017 (20)	Взрывные работы, пожары, взрывы, ДВС
NO ₂	1,59	бурый	резкий	-	Слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, отек легких	0,025	0,00026 (5)	Взрывные работы
SO ₂	2,22	-	раздра- жающий	кислый	Слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, отек гортани	0,05	0,00038 (10)	Выделения из пород, взрывные работы в серосодержащих породах, пожары
H ₂ S	1,19	-	тухлых яиц	сладковаты й	Слизистые оболочки дыхательных путей и глаз	0,1	0,00071 (10)	Выделения из пород, взрывные работы в серосодержащих породах, пожары
NH ₃	0,596	-	резкий	-	Слизистые оболочки, отек гортани	-	0,0025 (20)	Выделения из аппатито- нефелиновых пород, пожары

НСОН	1,04	-	-	-	Слизистые оболочки, центральная нервная система	-	0,00004 (0,5)	ДВС
CH ₂ CHCO H	1,9	-	пригорелы х жиров	-	Слизистые оболочки, центральная нервная система	0,014	0,00000 9 (0,2)	Разложение дизельного топлива

ПДК в воздухе рабочей зоны – это такая концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности (но не более 41 часа в неделю) в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований.

1.3. Взрывчатые газы

В воздухе подземных горных выработок и помещений обогатительных фабрик кроме ядовитых могут быть также взрывчатые газы, среди которых наиболее опасными и часто встречающимися являются метан и водород.

Метан (CH₄) – газ без цвета, запаха и вкуса, при обычных условиях весьма инертен. Его относительная плотность 0,5539, вследствие чего он скапливается в верхних частях выработок и помещений.

Метан образует с воздухом горючие и взрывчатые смеси, горит бледным голубоватым пламенем. Реакция горения метана - $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. В подземных выработках горение метана происходит в условиях недостатка кислорода, что приводит к образованию оксида углерода и водорода ($\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{CO} + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

При содержании метана в воздухе до 5-6% (при нормальном содержании кислорода) он горит около источника тепла (открытого огня), от 5-6% до 14-16% взрывается, свыше 14-16% не взрывается, но может гореть при притоке кислорода извне. Сила взрыва зависит от абсолютного количества участвующего в нем метана. Наибольшей силы взрыв достигает при содержании в воздухе 9,5% CH₄.

Температура воспламенения метана 650-750⁰С; температура продуктов взрыва в неограниченном объеме достигает 1875⁰С, а внутри замкнутого объема 2150-2650⁰С. Давление в месте взрыва в среднем в 8 раз превосходит начальное давление газовоздушной смеси до взрыва. Наиболее часто метан выделяется в каменноугольных и нефтяных месторождениях. Он встречается также в каменносоляных, калийных и железорудных бассейнах.

Метан образовался в результате разложения клетчатки органической массы под влиянием сложных химических процессов без доступа кислорода. Существенную роль при этом играет жизнедеятельность микроорганизмов (анаэробных бактерий).

Установлено, что на 1 т угля образуется 100-200 м³ метана.

В породах метан находится в **свободном** (заполняет поровое пространство) и **связанном** состоянии. На современных глубинах основное количество метана находится в связанном состоянии. При этом различают три формы связи CH₄ с твердым веществом: адсорбция, абсорбция и хемосорбция. Основное количество связанного метана находится в адсорбированном состоянии.

Количество метана, содержащегося в единице массы угля (породы) в естественных условиях, называется **газоносностью**.

Газоносность зависит от **газоёмкости** угля (породы), под которой понимается максимальное количество метана, которое может содержаться в единице массы угля (породы) при определенных давлении и температуре.

Газоносность угольных пластов может определяться прямым способом при разведке месторождений (исследование керна) или путем определения газоёмкости в лабораторных условиях.

Различают три вида выделения метана в горные выработки угольных шахт:

- обыкновенное;
- суфлярное;
- внезапные выбросы.

Обыкновенные выделения метана происходят с обнаженных поверхностей угольного массива через мелкие, невидимые поры и трещины. Интенсивность газовыделения в первые моменты после обнажения составляет от 5-7 до 50 л/мин с 1 м² обнаженной поверхности. Затем интенсивность газовыделения быстро падает и практически прекращается через 6-12 месяцев.

Суфлярным называется выделение метана из крупных видимых на глаз трещин и пустот в угле и породах. Дебит суфляров достигает десятков тысяч м³ в сутки, продолжительность выделений – от нескольких часов до нескольких лет.

Внезапный выброс – выделение большого количества газа (от сотен до сотен тысяч м³) в выработку с одновременным выбросом значительного количества (от одной до нескольких тысяч тонн) угля за короткий промежуток времени.

Данные о газоносности служат исходным материалом для прогноза газообильности шахт. Различают абсолютную и относительную газообильности.

Абсолютная газообильность шахты (выработки) – количество метана, выделяющегося в единицу времени (м³/мин, м³/сутки).

Относительная газообильность – количество метана, выделяющегося в шахте на 1 т добываемого угля или в руднике на 1 м³ горной массы.

В зависимости от относительной газообильности угольные шахты и рудники делятся на категории (табл. 2).

Таблица 2

Категории шахт (рудников) по газу

Категория	Относительная газообильность	
	Шахта, м ³ /т	Рудник, м ³ /м ³
I	<5	<7
II	5-10	7-14
III	10-15	14-21
Сверхкатегорная	>15, опасные по суфлярам	>21, опасные по суфлярам
Опасные по внезапным выбросам	Шахты, разрабатывающие пласты, опасные или угрожающие по внезапным выбросам угля и газа	-

Категория шахты устанавливается ежегодно в июне-июле по трем замерам газообильности в начале, середине и в конце месяца. Каждый из замеров проводится три раза в сутки, по одному в смену. Пробы воздуха набираются на исходящих струях шахты, отдельных пластов и участков в дни нормальной работы.

Категория шахты по метану устанавливается по относительной метанообильности наиболее газоносного пласта.

Шахты, в которых выделялся или выделяется метан хотя бы на одном пласте, считаются опасными по газу и должны быть переведены на газовый режим.

Для борьбы свзрывами метана в горных выработках проводится комплекс мероприятий по предупреждению опасных скоплений метана в выработках, по предупреждению воспламенения метана, по ограничению последствий взрыва.

Меры борьбы с выделениями метана

Весь комплекс мер борьбы с метаном в шахтах преследует следующие цели:

- недопущение опасного скопления метана в выработках;
- предупреждение воспламенения метана;
- ограничение последствий взрыва;
- борьба с суфлярами и внезапными выбросами.

1. Основной мерой предотвращения опасных скоплений метана является вентиляция выработок, обеспечивающая поддержание допустимых концентраций газа. Она считается эффективной, если по всей сети выработок поддерживается допустимая концентрация газа. Это достигается за счет поступления необходимого количества воздуха в шахту и распределения его по выработкам в соответствии с их газовым балансом.

По правилам безопасности содержание метана в шахтном воздухе не должно превышать значений, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Допустимое содержание метана в горных выработках

Выработки	Содержание CH ₄ , %
Исходящая из очистной или тупиковой выработки, выемочного участка	≤1
Исходящая крыла или шахты	≤0,75
Поступающая на выемочный участок, в очистные выработки, к забоям тупиковых выработок и в камеры	≤0,5
Местные скопления метана	<2

Также необходимо выполнять ряд дополнительных требований:

- применять меры по усилению воздушного потока в пределах слоя (перемешивание). Для этого скорость движения воздуха в выработке должна быть не менее 1 м/с;

- не допускать рециркуляцию воздуха. Для этого необходимо надежно отделять свежую струю от исходящей загрязненной, в частности, располагать ВМП (вентиляторы местного проветривания) только на свежей струе;

- не допускать даже кратковременной остановки ВГП (вентилятора главного проветривания). При высокой метаносности пластов средствами вентиляции иногда невозможно обеспечить допустимые концентрации метана в выработках. Это требует проведения дегазации шахт.

2. Опасные по газу шахты переводят на газовый режим. Меры по предупреждению воспламенения метана:

- применение взрыво- и электробезопасного оборудования;

- применение предохранительных взрывчатых веществ и соблюдение правил ведения взрывных работ;

- запрещение использования открытого огня и курения.

3. Для ограничений возможных последствий взрыва метана вентиляционная сеть шахты должна состоять из возможно большего числа независимых участков, а свежая и исходящие струи должны быть надежно разделены. Необходимо выполнять ряд организационных мер, связанных со своевременным отключением электроэнергии и выводом людей при загазировании выработок, соблюдая ПЛА (план ликвидации аварии).

4. Борьба с суфлярами ведется либо увеличением подачи воздуха в выработки, либо коптированием газа. Меры по предупреждению внезапных выбросов угля и газа:

- дегазация пластов;

- снижение концентраций напряжений в массиве;

- укрепление забоя специальными крепями;

- специальные организационно-технические мероприятия (механизация добычи на опасных пластах, применение выемки без постоянного присутствия людей, обеспечение рабочих изолированными газоспасателями).

Снижение концентраций напряжений достигается устранением острых углов в забоях, управление кровлей полным обрушением, применением сотрясательного взрывания вместо ударного.

При невозможности обеспечить допустимое содержание метана средствами вентиляции применяется дегазация шахт.

Водород (H_2) – газ без цвета, запаха и вкуса с относительной плотностью 0,07. Горит и взрывается при содержании его в воздухе от 4 до 74 %. Температура воспламенения H_2 на 100–200 °С ниже температуры воспламенения метана.

Водород может выделяться из пород, калийных пластов и из углей средней степени метаморфизма. Он образуется также при зарядке аккумуляторных батарей. Максимально допустимое содержание водорода в воздухе 0,5 %.

Кроме метана и водорода в воздухе подземных горных выработках могут присутствовать также тяжёлые углеводороды (табл. 4).

Таблица 4

Характеристика тяжелых углеводородов

Газ	Формула	Относительная плотность	Температура воспламенения, °С	Пределы взрываемости, %
Этан	C_2H_6	1,05	548	3,2 – 15
Пропан	C_3H_8	1,56	514	2,4 – 7,4
Бутан	C_4H_{10}	2,07	489	1,5 – 6,5

При наличии в воздухе нескольких близких по составу газов нижний предел взрываемости смеси определяется по формуле Лешателье:

$$N_{\text{смеси}} = \frac{100}{\frac{C_1}{N_1} + \frac{C_2}{N_2} + \dots + \frac{C_m}{N_m}}$$

где $C_1, C_2, \dots, C_m$ - содержание каждого из компонентов смеси (%) при

$$\sum_{i=1}^m C_i = 100\%$$

условии, что

$N_1, N_2, \dots, N_m$ – нижний предел взрываемости каждого компонента, %.

1.4. Взрывчатая пыль

Многие твердые вещества, не воспламеняющиеся в обычном состоянии, становятся взрывчатыми в состоянии тонкой пыли. Это объясняется двумя основными факторами: большая поверхность соприкосновения пылинок с кислородом воздуха; выделение горючих газов при нагревании пыли.

Рудничная пыль – мельчайшие частицы полезного ископаемого и породы, способные долгое время находиться в воздухе во взвешенном состоянии (аэрозоль), а осевшую на почве и бортах выработки пыль называют аэрогель.

В зависимости от крупности частиц различают пыль:

- макроскопическую > 10 мкм;
- микроскопическую $10 - 0,25$ мкм;
- ультрамикроскопическую $0,25 - 0,01$ мкм;
- субмикроскопическую $< 0,01$ мкм.

В неподвижном воздухе макроскопические пылинки оседают с возрастающей скоростью, микроскопические – с постоянной скоростью, ультра- и субмикроскопические – не оседают.

Аэрозоль состоит из мелких энергично окисляющихся с выделением тепла частиц. При определенных концентрациях и температурах аэрозоль может воспламеняться и взрываться.

Для человека шахтная пыль может быть ядовитой (Pb, Hg, As, Mn) и неядовитой (уголь, породы).

Пыль снижает видимость, засоряет глаза и может вызывать профессиональные заболевания – пневмокониозы (силикоз, асбестоз и т.д.).

Существуют нормы ПДК различных видов минеральной пыли (табл. 5).

Наиболее опасной для человека является пыль крупностью 0,2 – 10 мкм, содержащая большое количество свободной SiO₂.

При добыче и обогащении полезных ископаемых возможны взрывы угольной, сульфидной и серной пыли.

Наиболее опасной является угольная пыль, поэтому и взрывчатые свойства изучены наиболее полно.

Таблица 5

Виды пыли в рудничном воздухе

Вид пыли	ПДК, мг/дм ³
Пыль, содержащая более 70 % SiO ₂ в ее кристаллической модификации	1
Пыль, содержащая 10 – 70 % свободной SiO ₂	2
Асбестовая пыль и пыль смешанная, содержащая более 10 % асбеста	2
Пыль силикатов, содержащая менее 10 % SiO ₂	4
Пыль барита, апатита, фосфорита, цемента, содержащая менее 10 % свободной SiO ₂	5
Пыль угольная, содержащая менее 10 % свободной SiO ₂	4
Пыль угольная, не содержащая свободной SiO ₂	10

1.4.1. Угольная пыль

Нижний и верхний концентрационные пределы взрываемости угольной пыли соответственно составляют (10-50) г/м³ и 2000-3000 г/м³. Температура воспламенения – 700-900⁰С. При взрыве угольной пыли образуется большое количество оксида углерода.

Факторы, оказывающие влияние на взрывчатость угольной пыли:

- химический состав пыли (выход летучих веществ);
- дисперсность пыли;
- состав атмосферы;
- влажность;
- зольность.

1. Химический состав пыли. Одним из основных факторов является выход летучих веществ при термическом разложении угля без доступа воздуха. Главными компонентами летучих веществ являются смолистые соединения, водород, этан, непредельные углеводороды, окись углерода (CO), углекислый газ (CO₂), тяжелые углеводороды и др.

Угольную пыль подразделяют на слабовзрывчатую, если выход летучих веществ менее 15 % и сильновзрывчатую, если выход летучих веществ более 15 %. При выходе летучих веществ менее 10% - не взрывается. С увеличением выхода летучих веществ взрывчатость пыли увеличивается.

2.Дисперсность пыли. Наиболее взрывчатая пыль размером 60-100 мкм. Степень взрываемости увеличивается с увеличением степени ее измельчения.

Дисперсность – степень измельчения вещества. Под дисперсным составом понимают распределение частиц пыли по размерам. Он показывает, из частиц какого размера состоит данная пыль, и массу или количество частиц соответствующего размера. Дисперсность в значительной мере определяет свойства пыли. В результате измельчения изменяются некоторые свойства вещества и приобретаются новые. Это вызвано, в основном, тем, что при диспергировании вещества многократно увеличивается его суммарная поверхность.

В результате резкого увеличения суммарной поверхности вещества повышается поверхностная энергия, что влечет за собой увеличение физической и химической активности. Очень быстро и интенсивно протекают реакции окисления этих веществ. О повышении физической активности говорит, например, то, что измельченные вещества растворяются во много раз быстрее, чем исходный материал.

Например, при измельчении тела, имеющего форму куба и размеры 20х10х10 мм, и превращении его в частицы кубической формы с размером 1 мкм, суммарная поверхность материала возрастет в 10 000 раз и станет равной 6 м² (вместо 600 мм).

3.Состав атмосферы. Если шахтной атмосфере содержится метан, то взрыв возможен при более низких концентрациях пыли (табл. 6).

При влажности <40% пыль практически не взрывается.

Таблица 6

Взаимосвязь объемной доли метана и нижнего предела взрываемости пыли

Объемная доля CH ₄ в воздухе, %	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Нижний предел взрываемости, г/м ³	30	20	15	10	8	5

4. Влажность пыли. Влага действует как инертная добавка. Теплоемкость воды больше теплоемкости пыли, следовательно, вода поглощает тепла в 5 раз больше, чем инертная пыль. Действие влаги на взрываемость пыли нужно рассматривать с двух позиций:

- влага способствует коагуляции мелких частиц в более крупные, в результате снижения их удельной поверхности, замедляются поверхностные химические реакции и в некоторых случаях взрыв становится невозможным;

- с увеличением влаги происходит снижение теплового баланса, но для предотвращения взрыва необходимо снижение температуры источника взрыва до 600 °С.

Взвешенная в шахтном воздухе пыль с любым содержанием влаги может взрываться при наличии мощного источника воспламенения.

Следовательно, защитное действие влаги выражается в связывании осевшей пыли, препятствии перехода ее во взвешенное состояние. По нормативам влажность угольной пыли, находящейся на почве выработки должна быть не менее 12 %.

5. Зольность пыли. Наличие золы снижает взрываемость пыли, т.к. часть образующегося тепла расходуется на нагрев частиц инертной пыли, что снижает температуру взрыва. При зольности 60 – 90 % угольная пыль не взрывается.

1.4.2. Основные меры борьбы со взрывами угольной пыли в шахтах

Пылевзрывозащита (ПВЗ) - комплекс мероприятий по борьбе с отложением, накоплением и воспламенением скопившейся взрывчатой пыли и по предупреждению и локализации распространения взрывов пыли по подземным горным выработкам.

На каждой опасной по пыли шахте осуществляется проект комплексного обеспыливания. Организуется специальная противопылевая служба. Эти работы выполняются в режимах, регламентированных правилами безопасности.

Весь комплекс мероприятий ПВЗ можно разделить на три группы.

I группа. Мероприятия по борьбе с отложением и накоплением пыли. Относятся все действия, направленные на снижение запыленности воздуха:

- рациональные схемы вскрытия и разработки месторождений;
- применение механизмов, при работе которых наблюдается наименьшее пылеобразование (с подачей воды под давлением в зону действия режущей коронки, очистные комбайны с резанием крупными стружками);
- бурение шпуров с промывкой водой (расход воды 5-10 л/мин);
- предварительное увлажнение угольных пластов;
- орошение мест пылеобразования и осевшей пыли водяными завесами с помощью переносных оросителей;
- эффективное проветривание;
- периодическая очистка (3-4 раза в год) откаточных и вентиляционных выработок;
- расположение скиповых подъемов в стволах с исходящей струей воздуха;
- расположение сортировочных фабрик и фабрик с сухим обогащением так, чтобы пыль не заносилась в шахту;
- сокращение вторичного дробления;
- сухое пылеулавливание.

II группа. Мероприятия по борьбе с воспламенением пыли. К мероприятиям, препятствующим появлению источников воспламенения пыли относятся:

- запрещение открытого огня и курение;
- применение предохранительных ВВ (взрывчатых веществ);
- применение электровзрывания;
- применение взрывобезопасного оборудования и светильников.

III группа. Мероприятия по локализации и предупреждению взрыва пыли.

К ним относится:

- смыв пыли водой;
- побелка выработок цементно-известковым раствором;
- связывание пыли ПАВ (поверхностно-активными веществами), смачивающе-связывающими растворами (ДБ);
- водораспыляющие завесы;
- гламозийные перегородки;
- установка водяных заслонов;
- установка сланцевых заслонов;
- туманообразующие завесы;
- применение АСВП-ЛВ (автоматическая система взрывоподавления – локализация взрывов).

Забой и призабойное пространство (длиной 20 м) перед производством взрывных работ не реже одного раза в сутки обрабатывают 0,1% раствором ДБ (продукт реакции семи молей окиси этилена и смеси моно- и дитретичных бутилфенолов).

В выработках с интенсивностью пылеобразования менее 1 г/м^3 в сутки применяется побелка поверхности выработки известково-цементным раствором не реже одного раза в месяц.

При интенсивности пылеобразования более 50 г/м^3 в сутки применяются туманообразовательные завесы.

При интенсивности пылеобразования от 50 до 400 г/м^3 и относительной влажности воздуха более 80% применяется раствор хлористого кальция CaCl_2 (20-25%) либо раствор ДБ (1-2%).

1.4.3. Водные и сланцевые заслоны

Водораспыляющие завесы создаются диспергированием воды, которая помещается в полиэтиленовые сосуды (мешки) и размещенные определенным образом в призабойном участке. От взрыва зарядов ВВ мешки разрываются, и вода распыляется.

Осланцевание – искусственное повышение зольности, отложившейся в выработках пыли путем добавления стандартной инертной пыли.

Водные и сланцевые заслоны относятся к пассивным заслонам. Они создают гасящую среду на пути распространения фронта пламени. Эта гасящая среда может быть в виде облака распыленного в воздухе гасящего вещества, воды или инертной пыли, которая образуется при воздействии на заслон УВВ (ударной воздушной волны) самого взрыва.

Сланцевый заслон – ряд полок, расположенных поперек выработки у ее кровли на трапецевидных опорах (баклушах) и загруженных инертной пылью. Инертная пыль – измельченный сланец, доломит и ракушечник. При воздействии УВВ полки опрокидываются, и сланцевая пыль рассеивается в поперечном сечении выработки. Ширина полок 250-500 мм, бортики 5 мм, расстояние между кровлей выработки и верхней поверхностью инертной пыли должно быть в пределах 100-300 мм (рис 1). Расстояние между полками заслона должно быть одинаковым и не меньше ширины полки. Длина сланцевого заслона – не менее 20 м. Первый заслон устанавливается не ближе 60 м от забоя, последующий – не далее 300 м от забоя. Общее количество инертной пыли, засыпаемой на полки принимается из расчёта 400 кг на 1 м² площади поперечного сечения выработки. Время срабатывания 200 - 400 мс.

Инертная пыль не должна слеживаться, мало поглощать воду. Такую пыль изготавливают путем сухого помола сланцев (99% пыли имеет крупность 0,6 мм и не менее 50% класса 0,071 мм). Осланцеванию подвергают почву, стенки, кровлю всех откаточных и вентиляционных выработок. Инертная пыль как более вязкая, чем угольная, затрудняет переход пылевой смеси в аэрозольное состояние. А поднятая в воздух поглощает значительную часть тепла и снижает температуру пламени.

Норма осланцевания – количество инертной пыли, которое необходимо добавить к взрывчатой пыли, чтобы смесь стала невзрывчатой.

Контроль степени осланцевания проводится ежедневно визуально не реже 1 раза в квартал путем отбора и анализа контрольных проб пыли в осланцованных выработках.

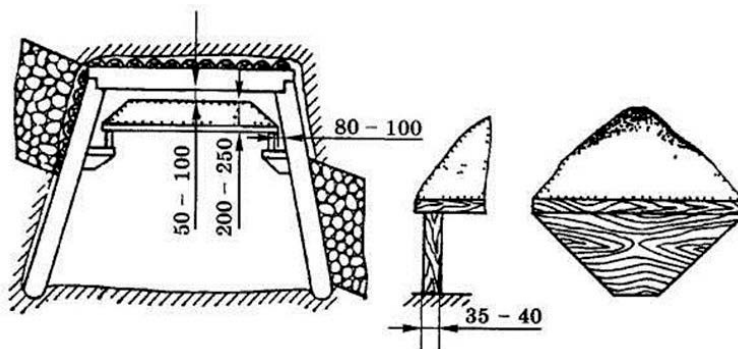


Рис. 1. Сланцевый заслон из полок

Осланцевание осуществляется в сухих горных выработках и в выработках с отрицательной температурой боковых пород, где применение гидропылевзрывозащиты нецелесообразно или невозможно.

Норма осланцевания, при которой угольная пыль теряет способность воспламеняться устанавливается экспериментально. Зависит от взрывчатых свойств пыли и качества инертной пыли. При осланцевании горных выработок на одну часть угольной пыли приходится обычно до 3—5 и более частей инертной пыли.

Периодичность осланцевания выработок определяется временем достижения нижнего предела взрывоопасной запыленности выработок. Она колеблется в широких пределах от нескольких месяцев до суток и менее.

Осланцевание выработок может осуществляться механическим и ручным способом. Механическое осланцевание производится специальными машинами (осланцевателями), распыляющими инертную пыль с помощью вентиляторов. Они состоят из емкостей для пыли, питателя и вентилятора, размещенных на платформах.

Достаточность осланцованности производится химическим анализом в лаборатории и другими менее точными, но простыми способами, например, по цвету пыли. Используется также непосредственное воспламенение отобранной пыли на специальном приборе, кроме того существуют экспресс методы определения в подземных условиях с помощью специальных приборов.

Водяной заслон. Представляет собой сосуды вместимостью более 80 л, размещенные на полках, ориентированных поперек выработки. Заслон снабжен рассекателями в виде пилообразных ножей, жестко закрепленных с обеих сторон сосудов. При взрыве метана или угольной пыли сосуды в эластичной оболочке ударной волной прижимаются к ножам. Они разрезают оболочку сосуда, и вода выливается, образуя водяной заслон. Количество сосудов и воды в них из расчета 400 л на 1 м² поперечного сечения выработки. Общая длина заслона должна быть не менее 30 м, расстояние между полками не менее 0,5 м. Время срабатывания 150 мс.

1.4.4. Сульфидная и серная пыль

При разработке медных и серно-колчеданных руд большую опасность представляют взрывы сульфидной пыли, в результате которых образуется большое количество сернистого газа. К категории взрывоопасных отнесены все шахты, разрабатывающие сульфидные руды с содержанием серы более 35%. Наиболее опасна сульфидная пыль, имеющая в своем составе фракции крупностью 10-100 мкм. При влажности 9-9,5% сульфидная пыль становится не взрывчатой. Пределы взрываемости сульфидной пыли – 250-1500 г/м³, температура воспламенения – 430-460°C.

Серная пыль более опасна, чем сульфидная.

Серная пыль более опасна, чем сульфидная. Пределы взрываемости серной пыли – от 5–15 % г/м³ (нижний предел) до 600–1000 г/м³.

Все шахты, опасные по взрыву серной пыли, в зависимости от содержания серы в руде, делятся на две группы: I группа – от 12 до 18 %; II группа – > 18 %.

Для борьбы со взрывами сульфидной и серной пыли предусматривается выполнение мероприятий, препятствующих образованию пыли (бурение с промывкой, орошение, смыв пыли), а также препятствующих воспламенению (применение предохранительных ВВ, электрическое взрывание, взрывобезопасное электрооборудование, запрещение открытого огня).

1.5. Микроклимат горных выработок

Климатические условия (тепловой режим) горных предприятий оказывают большое влияние на самочувствие человека, его производительность труда, на уровень травматизма. Кроме того, они оказывают влияние на работу оборудования, поддержание выработок, состояние вентиляционных сооружений.

Микроклимат определяется сочетанием следующих факторов:

- температуры, поступающего в шахту воздуха;
- температуры пород;
- влажности атмосферы;
- скорости движения и количества проходящего воздуха.

Микроклимат, при котором терморегуляция организма протекает оптимально называется комфортным.

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений (в том числе и обогатительных фабрик) приведены в ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН – 2.2.4.548-96.

По ПБ (правилам безопасности) и СанПиН для шахт допустим микроклимат:

- температура воздуха не выше 26 °С;
- влажность менее 90 %;
- скорость движения воздуха до 2 м/с;
- в зимнее время воздух, подаваемый в выработки должен подогреваться до температуры не ниже 2 °С.

Температура и влажность воздуха в подземных выработках зависят от таковых на поверхности.

При движении воздуха по подземным выработкам его температура и влажность изменяются.

Зимой воздух, поступающий в шахту, охлаждает стенки воздухоподающих выработок, а сам нагревается. Летом воздух нагревает стенки выработок, а сам охлаждается. Теплообмен происходит наиболее интенсивно в воздухоподающих выработках и на некотором расстоянии от их устья затухает, а температура воздуха становится близкой к температуре пород.

Слой породы, температура которого меняется в течение года, называется **тепловыравнивающей рубашкой** (оболочкой). Протяжённость её зависит от количества воздуха, размеров выработки, теплофизических параметров горных пород.

Относительная влажность воздуха зависит от влажности атмосферного воздуха и обводнённости пород.

В летнее время при поступлении в горные выработки воздух с большим влагосодержанием охлаждается, а избыток влаги выпадает из воздуха и конденсируется на стенках выработок. Относительная влажность может достигать 100 %.

В зимнее время происходит обратный процесс. При поступлении воздуха в шахту выработки осушаются, вода выносится из выработок на поверхность.

Основными факторами, определяющими температуру воздуха в подземных горных выработках, являются:

1. Тепло- и массообмен с горными породами.
2. Естественное сжатие воздуха при его движении вниз по вертикальным или наклонным выработкам.
3. Окисление горных пород и материалов крепи.
4. Охлаждение горной массы при ее транспортировании по выработкам.
5. Процессы массообмена между воздухом и водой.
6. Тепловыделение при работе машин и механизмов.
7. Тепловыделение людей, охлаждение электрических кабелей, трубопроводов, горение светильников и пр.

Меры борьбы с высокими температурами в подземных горных выработках:

1. Теплоизолирующие покрытия выработок.
2. Сокращение пути движения воздуха к местам потребления.
3. Увеличение количества воздуха.
4. Замена деревянной крепи металлической.
5. Уменьшение времени нахождения горной массы в подземных выработках.
6. Охлаждение воздуха без применения холодильных машин (при помощи льда, использование холодной воды рек и сжатого воздуха).
7. Охлаждение воздуха с помощью холодильных машин (кондиционирование).

Борьба с высокими температурами в шахтах в настоящее время ведется путем выполнения ряда горно-технических мероприятий и путём искусственного охлаждения воздуха.

Горно-технические мероприятия:

- улучшение вентиляции;
- осуществление мер борьбы с тепловыделениями по пути движения вентиляционной струи;
- проведение таких вариантов схем вскрытия, при которых нагревание вентиляционной струи будет минимальным.

1.5.1. Тепловой режим шахт

Тепловой режим угольных шахт зависит от следующих факторов:

- температуры поступающего в шахту воздуха;
- температуры пород;
- влажности атмосферы;
- скорости движения и количества проходящего по выработкам воздуха и др.

В целях создания нормальных условий работы в шахтах ПБ регламентируются температура и скорость движения воздуха. Температура воздуха в подземных выработках не должна быть выше 26°C при влажности менее 90%. Скорость движения воздуха до 2 м/с. В зимнее время воздух, подаваемый в горные выработки, должен подогреваться до температуры не ниже 2°C.

Изучение теплового режима и управление им имеет большое значение для создания санитарно-гигиенических условий и нормального самочувствия трудящихся в процессе работы. Кроме того, при недостаточном внимании к тепловым процессам может быть нарушена нормальная работа шахтного подъема и вентиляторной установки, вследствие обмерзания устьев стволов, рабочих лопаток и каналов вентиляторов в зимнее время.

Большое влияние тепловые условия оказывают на самочувствие трудящихся. Это объясняется тем, что в человеческом организме в процессе жизнедеятельности образуется тепло. Для поддержания постоянной температуры человеческого тела все образовавшееся тепло должно быть выведено из организма.

В первой половине девятнадцатого века было замечено, что с переходом на разработку более глубоких горизонтов возрастает температура горных пород и, как следствие, повышается температура воздуха и ухудшаются условия работ.

При температуре воздуха более 28°C производительность труда шахтеров снижается на 30÷40%; кроме того, работа в таких неблагоприятных условиях действует изнуряюще, вызывает сонливость, ослабляет внимание.

На температуру шахтной атмосферы влияют:

- температура поступающего в шахту воздуха;
- тепловой и массовой обмен воздуха с массивом горных пород;
- сжатие вентиляционной струи под давлением столба воздуха за счет разницы отметок земной поверхности и горных выработок;
- тепловыделение при работе горных машин и механизмов;
- тепловыделение людей;
- теплоотдача трубопроводов, электроаппаратуры и др.

В России шахты расположены в различных климатических зонах. Поэтому поступающий в шахту воздух может иметь температуру от 40 до -50 °C. Воздух с низкой температурой подавать в шахту запрещено. Поэтому на поступающих струях устанавливают калориферы, подогревающие воздух до температуры не менее 2 °C на расстоянии 5 м от сопряжения канала калорифера со стволом (штольной). В шахтах, расположенных в зонах многолетней мерзлоты, допускают минимальные температуры воздуха при скорости его движения 0,15 - 4 м/с на уровне от -12 до -6 °C.

Основным фактором, определяющим температуру воздуха в шахтах, является температура горных пород. С углублением горных работ температура пород растет по линейному закону в соответствии с геотермической ступенью - величиной, характеризующей нарастание температуры горных пород с

глубиной и выражающейся числом метров глубины, соответствующим повышению температуры на 1 °С.

Температура воздуха в шахтах в зависимости от их глубины и географического расположения изменяется в очень широких пределах и может быть как положительной, так и отрицательной; влажность же обычно держится на высоком уровне – около 70%, повышаясь до 90% и более в обводненных выработках.

Тепловой баланс – соотношение между тепловыделением из различных источников, для каждой шахты свой, но все же можно говорить о среднем балансе.

$$T_{\text{общ.}} = T_{\text{пород}} + T_{\text{люди}} + T_{\text{маш}} + T_{\text{сж.}} + T_{\text{окисл.}}, \text{ кДж/ч,}$$

где $T_{\text{общ.}}$ – общее тепловыделение;

$T_{\text{пород}}$ – тепловыделение горных пород;

$T_{\text{люди}}$ – тепловыделение людей (теповыделение одного человека составляет 700-1000 кДж/ч);

$T_{\text{маш.}}$ – тепловыделение от машин и механизмов;

$T_{\text{сж.}}$ – тепловыделение от сжатия вентиляционной среды (в нисходящих потоках атмосферное давление повышается, воздух сжимается, температура его повышается. Т.к. механическая энергия переходит в тепловую);

$T_{\text{окисл.}}$ – тепловыделение от окисления пород.

Поскольку наибольшее влияние на температуру воздуха в угольной шахте оказывает тепловыделение из горных пород и, вследствие того, что расстояние от воздухоподающего ствола до очистных забоев достигает нескольких километров, температура воздуха в последних близка к температуре пород. Суточные колебания температуры воздуха на поверхности выравниваются уже в околоствольных дворах и практически не отражаются на температуре воздуха в очистных забоях. Сезонные колебания температуры в очистных забоях составляют 1÷5°С.

1.5.2. Меры борьбы с высокими температурами в горных выработках

Борьба с высокими температурами в шахтах в настоящее время ведется путем выполнения ряда **горнотехнических мероприятий** и при помощи **искусственного охлаждения воздуха**.

Горнотехнические мероприятия сводятся к улучшению вентиляции, проведению мер борьбы с тепловыделениями по пути движения вентиляционной струи, а также к применению таких вариантов схем вскрытия, при которых нагревание вентиляционной струи будет минимальным.

Улучшение вентиляции способствует снижению температуры в шахте. В частности, с увеличением дебита струи она нагревается меньше, благодаря тому, что тепло, выделяющееся в выработку, распределяется на больший объем воздуха. Кроме того, увеличение дебита, как правило, сопровождается повышением скорости струи. Несмотря на то, что при этом теплоотдача от стенок выработки в единицу времени возрастает, нагревание воздуха, вследствие уменьшения времени его прохождения по выработкам,

уменьшается. С увеличением расхода воздуха в выработке его температура уменьшается. Так, при подаче 400 м³/мин воздуха в очистной забой с температурой окружающих пород около 36 °С можно обеспечить температуру исходящей струи 29 °С, при подаче 800 м³/мин -26,5 °С, при подаче 1200 м³/мин -25,7 °С. Охлаждающее действие воздушной струи особенно проявляется при увеличении скорости движения воздуха с 0,5 до 4 м/с. Однако, возможности увеличения дебита ограничены, так как в современных глубоких шахтах, разрабатывающих пласты повышенной газоносности, скорости движения воздуха близки к предельно допустимым по ПБ.В шахтах установлены ограничения по скорости движения воздуха. Максимально допустимые скорости движения воздуха составляют: в стволах для спуска и подъема только грузов - 12 м/с; в стволах для спуска и людей и грузов, квершлагах, главных откаточных и вентиляционных штреках, капитальных и панельных бремсбергах (уклонах) - 8 м/с; в призабойных пространствах очистных и тупиковых выработок - 4 м/с, в прочих подготавливающих выработках - 6 м/с.

Тепловыделение при окислительных процессах, работе машин, а также из стенок выработок, шахтных вод, добытого полезного ископаемого и других источников составляет значительную долю общешахтного теплового баланса.

Уменьшение выделения тепла, связанного с окислительными процессами, может быть достигнуто снижением запыленности выработок угольной и иной окисляющейся пылью, сокращением применения деревянной крепи и затяжек, покрытием стен выработок специальным составом, уменьшением времени нахождения добытых углей и окисляющихся руд в шахтах.

Электрические механизмы, работающие в очистных забоях, выделяют тепло в количествах, достаточных для повышения температуры вентиляционной струи на 1,5° и более. Для уменьшения влияния работы механизмов необходимо во всех случаях, когда это технически осуществимо, применять обособленное проветривание машинных камер.

Поскольку охлаждающее действие вентиляционной струи не зависит от того, по какой причине повысилось теплосодержание (за счет повышения температуры или влагосодержания воздуха), необходимо вести борьбу с повышенным содержанием воды в воздухе, стараясь уменьшить капеж в выработках и закрывая водоотливные канавки.

В рудниках и шахтах, применяющих пневматическую энергию, сжатый воздух с температурой около 70÷80° С обычно подается по воздухопроводам, проложенным в воздухоподающих стволах, что приводит к повышению температуры вентиляционной струи. Поэтому желательно охлаждать сжатый воздух после компрессии до температуры воздуха в стволе, а там, где это не вызывает особых технических затруднений, прокладывать трубопроводы сжатого воздуха по стволам с исходящей струей и выработкам вентиляционного горизонта.

Схемы вскрытия шахтных полей – необходимо стремиться к тому, чтобы они позволяли сократить до минимума путь свежего воздуха от поверхности до забоев, для этого вскрывающие и подготавливающие выработки должны иметь

минимально возможную длину. На температуру вентиляционной струи оказывает влияние срок проветривания выработки, по которой проходит воздух. Продолжительность существования выработки, в свою очередь, зависит от принятого способа подготовки и порядка отработки. Время эксплуатации выработок, пройденных по углям, должно быть по возможности коротким, из-за повышенной теплоотдающей способности угольных пластов.

Применение выемочных механизмов с небольшой глубиной вруба (струги, комбайны) способствует, согласно расчетам, снижению температуры в лавах на $1,2 \div 1,6^{\circ}\text{C}$.

Перечисленные меры, направленные на снижение температуры шахтного воздуха, желательно применять во всех случаях при работе на больших глубинах с высокой температурой воздуха, независимо от того, производится или нет искусственное охлаждение. При разработке угольных месторождений на средних глубинах даже одно лишь выполнение этих мероприятий может обеспечить установление нормального температурного режима, в более же глубоких шахтах с этой целью должно применяться искусственное охлаждение воздуха.

1.5.3. Искусственное охлаждение и подогрев воздуха

При размещении установок на поверхности охлаждается весь поступающий в шахту воздух, вследствие чего расходуется излишняя мощность на охлаждение воздуха, который не достигает рабочих забоев. Кроме того, расчеты и практика показывают, что в этом случае для шахт глубиной свыше 1000 м необходимо охлаждать воздух до отрицательных температур, что приведет к обмерзанию воздухоподающих выработок. Недостатком рассматриваемого метода размещения воздухоохладительных установок является резкий перепад температур в стволе, создающий опасность простудных заболеваний. Поэтому такая установка может быть рациональна только в особых случаях.

Наиболее рациональной является схема с местным охлаждением воздуха в очистных подготовительных забоях с помощью воздухоохладителей и расположением холодильных машин на поверхности. При этом подача и отвод хладоносителя (воды) осуществляется по сети изолированных трубопроводов.

Имеются схемы, в которых вся холодильная установка размещена на глубоком горизонте, что уменьшает потери холода в трубопроводах и позволяет применять трубопроводы низкого давления.

Современные комбинированные системы кондиционирования воздуха включают в себя холодильные установки на дневной поверхности и под землёй и воздухоохладители, размещённые в нескольких пунктах по ходу движения вентиляционной струи (многоступенчатые системы).

Для кондиционирования воздуха применяют стационарные и передвижные холодильные установки, (ШХТМ-1300, КШ-220, МХРВ-1-У5 с воздухоохладителями ОКВ-1350Ш, КПШ-90, КПШ-115, АРВЭ-3).

В системе кондиционирования шахтного воздуха используют стационарные холодильные машины общепромышленного назначения ХТМФ-248-4000 и др. В качестве подземных стационарных холодильных машин, устанавливаемых в камерах, применяют установку 111ХТМ-1300 с хладопроизводительностью 1,5 МВт, расходом охлаждающей воды 5 м³/ч и площадью теплопередающей поверхности 300 м², а также установки ХТМФ-235М 2000 (2,3 МВт) и ХТМФ-248-1000 (4,6 МВт). Для местного кондиционирования шахтного воздуха в забоях и выработках используют передвижные кондиционеры ВК 230 (0,23 МВт), КПШ 3 (0,1 МВт) и КПШ 40П (0,05 МВт), а также воздухоохладители конструкции МакНИИ АРВЭ и АЭРП с хладопроизводительностью до 0,3 МВт.

В глубоких угольных шахтах можно применять воздушное душирование, сущность которого заключается в том, что на рабочих местах в выработках с малоподвижной атмосферой увеличивают скорость движения воздуха до 2-4 м/с за счет его местной циркуляции при постоянном общем расходе воздуха. Душирование осуществляют переносными взрывобезопасными аппаратами «Ветерок-3» и «Прохлада». Так как воздушное душирование позволяет уменьшить температуру воздуха только на 2-4 °С, его целесообразно применять совместно с искусственным охлаждением воздуха.

Подогрев подаваемого в шахту воздуха

Поскольку в зимнее время температура атмосферного воздуха отрицательная, возникает опасность обмерзания воздухоподающих выработок с образованием наледей, нарушения нормальной работы шахтного подъема, обледенения лестничных отделений, нарушения несущей способности крепи и т.п. Поэтому зимой подаваемый в шахту воздух должен подогреваться с тем, чтобы температура его была не ниже +2⁰С.

Подогрев воздуха осуществляется обычно паровыми калориферами и в отдельных случаях – электрокалориферами. Как правило, подогревается сравнительно небольшая часть воздуха до температуры 60÷70⁰С, не превосходящая 20÷25% от общешахтного его расхода, с тем, чтобы после смешивания с основной вентиляционной струей температура смеси была не ниже +2⁰С.

Подогретый воздух по специальному каналу подается вентилятором в ствол, где и происходит смешивание с основной вентиляционной струей, поступающей через устье ствола.

Поскольку переохлаждение организма зависит также от влажности воздуха, принимают меры для ее снижения: устраняют капеж в стволе шахты путем гидроизоляции стенок ствола, устраивают ограждения в стволе для сбора и отвода воды, а также водоуловители над сопряжением околоствольного двора со стволом, устраняют скопления воды на почве выработок и пр.

2. ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СЕТИ

2.1. Общие сведения

Проветривание шахты осуществляется путем создания воздушного потока в сети горных выработок. Принятое направление воздушных потоков в сети определяет схему проветривания шахты и отдельных ее участков.

Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом:

1. Все выработки должны проветриваться активной струей воздуха за исключением тупиков длиной до 10 м, проветриваемых за счет диффузии.

2. Все камеры служебного назначения должны проветриваться обособленной струей воздуха с выбросом отработанного непосредственно на исходящую струю шахты или участка.

3. Запрещается подача свежего воздуха к рабочим зонам и удаление исходящей через завалы и обрушения, кроме случаев ликвидации аварии.

4. Запрещается подача свежего воздуха и выдача исходящей струи по одному и тому же стволу или штольне за исключением случаев строительства этих выработок.

В шахтную вентиляционную сеть входят горные выработки и сооружения, по которым движется воздух, а также выработки, вентиляционные сооружения и выработанное пространство, через которые просачивается воздух в таком количестве, которое оказывает влияние на проветривание шахты.

В шахтную вентиляционную сеть входят горные выработки и сооружения, по которым движется воздух, а также выработки, вентиляционные сооружения и выработанное пространство, через которые просачивается воздух в таком количестве, которое оказывает влияние на проветривание шахты.

Направление воздушных потоков осуществляется с помощью вентиляционных сооружений:

- вентиляторы,
- перемычки,
- двери,
- трубопроводы,
- кроссинги и др.

Воздушные потоки, потоки вредных примесей (газов, пыли, тепла), вентиляционная сеть, вентиляционные сооружения и источники тяги в сети образуют **шахтную вентиляционную систему**, которая характеризуется:

- схемой движения воздуха в сети,
- интенсивностью вентиляционного процесса (обмена и переноса массы и энергии),
- аэродинамическим режимом воздушных течений.

Ее главными параметрами являются:

- концентрация вредных примесей в шахтной атмосфере;
- объемные расходы воздушных потоков (воздухораспределение в сети);
- аэродинамические сопротивления горных выработок и сооружений;

- депрессия источников механической и естественной тяги.

Важно:

Способность шахтной вентиляционной системы обеспечивать допустимый вентиляционный режим в нормальных и аварийных условиях характеризует степень ее надежности.

2.2. Классификация шахтных вентиляционных сетей

Шахтные вентиляционные сети могут быть в виде:

- вентиляционного плана;
- схемы вентиляции;
- схемы вентиляционных соединений (аэродинамическая);
- пространственная схема(аксонометрическая).

Вентиляционная сеть – совокупность связанных между собой горных выработок, по которым движется воздух.

Вентиляционный план – вычерченный в масштабе план горных выработок, на котором указаны вентиляционные сооружения и направления движения воздуха.

Схема вентиляции – схематический чертеж, на котором показано взаимное расположение горных выработок, вентиляторов, вентиляционные сооружения и направления движения воздуха (рис. 2).

Схема вентиляционных соединений – упрощенный график сети, не отражающий пространственного расположения выработок, на котором сохраняется взаимосвязь всех элементов сети (рис.3).

Узел сети – место соединения двух и более разных выработок (1,2,...,12).

Ветвь – путь движения воздуха между смежными узлами (1-2).

Контур – замкнутое соединение нескольких ветвей схемы (10-11-12-7-10).

Направление - последовательное соединение ветвей от пункта входа воздуха в шахту через обособленно вентилируемый объект проветривания до пункта (1-2-3-10-11-12-7-8-9).



Рис. 2. Схема вентиляции шахты

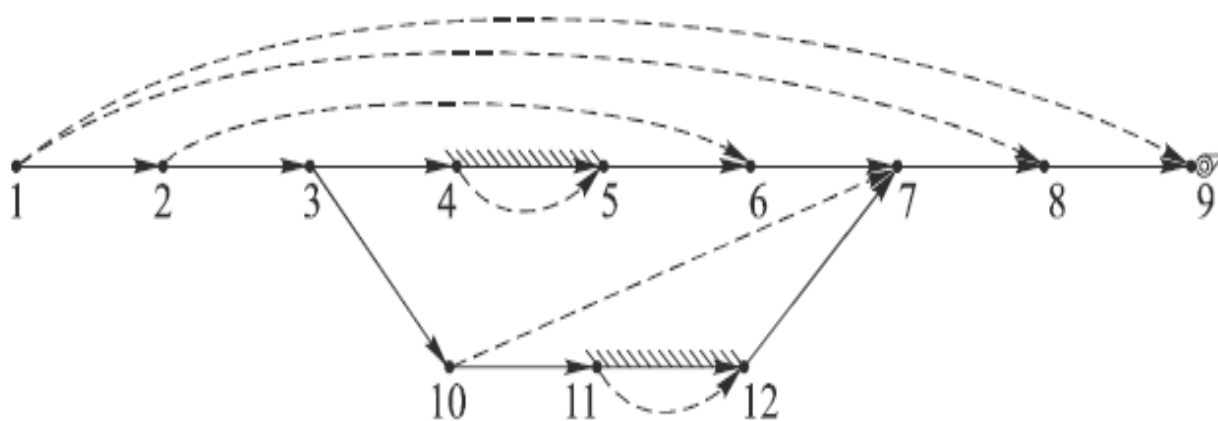


Рис. 3. Схема вентиляционных соединений

2.3. Способы и схемы проветривания шахт (рудников)

В зависимости от способа создания необходимого перепада давления различают нагнетательный, всасывающий и нагнетательно-всасывающий (комбинированный) способы проветривания.

Нагнетательный способ заключается в том, что вентилятором повышается давление в воздухоподающем стволе (по сравнению с нормальным атмосферным). Нормальное атмосферное давление P_0 увеличивается на выходе из вентилятора до P_1 , а в устье ствола, отводящего воздух на поверхность, оно

остаётся равным атмосферному (рис. 4, а). В выработках шахты создаётся перепад давления (депрессия), которая определяется по формуле $h = P_1 - P_0$.

Достоинства:

- возможность применения одной ГВУ при фланговой схеме проветривания;
- возможность ведения горных работ без общего вентиляционного горизонта;
- легкость регулирования распределения воздуха в сети и управления вентиляционными режимами;
- отсутствие подсосов воздуха с поверхности через обрушенные породы;
- через ГВУ проходит только чистый воздух, незагрязненный пылью и газами, что повышает срок службы вентилятора.

Недостатки:

- при внезапной остановке ГВУ в газовых шахтах велика вероятность повышения загазованности выработок;
- необходимость устройства герметичного надшахтного здания у клетового воздухоподающего ствола (большие затраты); в остальных случаях вентилятор, работающий на нагнетании устанавливается на специальных стволах, необорудованных подъемом;
- необходимость применения мощных ГВУ с большим диапазоном регулирования по производительности и депрессии.

Область применения:

- при разработке не глубоко залегающих залежей и при наличии аэродинамической связи подземных выработок с поверхностью.

При всасывающем способе необходимый перепад давления создаётся путём разрежения воздуха вентилятором в устье ствола, отводящего воздух. Давление воздуха в устье этого ствола снижается до значения P_1 , меньшего нормального атмосферного давления P_0 . Депрессия шахты в этом случае будет $h = P_0 - P_1$ (рис. 4, б).

Достоинства:

- возможность применения как одной, так и нескольких ГВУ при фланговой схеме проветривания;
- единственно возможный для практического применения способ на газовых шахтах и рудниках;
- наличие общего вентиляционного горизонта повышает безопасность ведения работ;
- легкость реверсирования воздуха в сети и управления вентиляционными режимами при работе нескольких вентиляторов;
- большая эффективность проветривания выемочных участков, расположенных на флангах шахтного поля.

Недостатки:

- наличие подсосов воздуха с поверхности через зоны обрушения, трещины, тектонические нарушения, заперемыченные выработки;
- способ не рекомендуется применять при разработке МПИ, склонных к самовозгоранию;

- через ГВУ проходит воздух, загрязненный пылью и газами, что снижает срок его службы и повышает опасность взрыва.

Область применения:

- применяется при глубине отработки залежи от 200 м до 1,5 км;
- когда отсутствуют аэродинамические связи горных выработок с поверхностью;
- при разработке пластов, не склонных к самовозгоранию.

Нагнетательно-всасывающий способ вентиляции заключается в том, что водной части выработок шахты нагнетательным вентилятором создаётся избыточное давление воздуха (P_1), а в другой части всасывающим вентилятором создаётся разрежение (P_2). Депрессия шахты в этом случае будет $h = P_1 - P_2$ (рис. 4, в).

Достоинства:

- в шахте имеется область с P_0 (атмосферным давлением) и отсутствием поступления воздуха с поверхности;
- можно проветривать шахты с большим аэродинамическим сопротивлением, так как ВГП создается большой перепад давления ΔP .

Недостатки:

- 2 ВГП;
- большие затраты на проветривание;
- трудность управления вентиляцией шахты.

Область применения:

- при разработке пластов с самовозгорающимся углем;
- при больших аэродинамических сопротивлениях шахты.

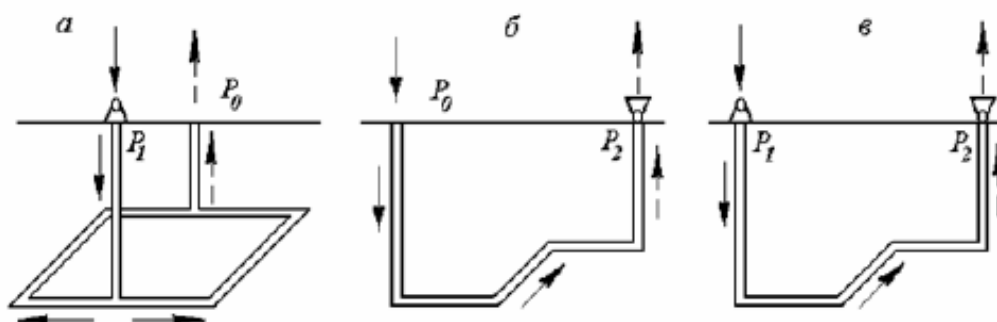


Рис.4.Способы вентиляции шахт:

а – нагнетательный; б – всасывающий; в – нагнетательно-всасывающий

2.4. Схемы вентиляции

Схемой вентиляции называется план горных работ с нанесённым на него направлением движения свежей и исходящей струи воздуха.

В зависимости от числа и взаимного расположения выработок, по которым подаётся свежий и отводится загрязнённый воздух, различают:

- центральные,
- фланговые и
- комбинированные схемы вентиляции.

Центральные схемы, в свою очередь, делятся на центрально-сдвоенные и центрально-отнесённые.

При **центрально-сдвоенной схеме** (рис. 5) воздухоподающий и воздуховыдающий стволы расположены в центре шахтного поля. Эта схема применяется, как правило, по глубине разработки более 200 м.

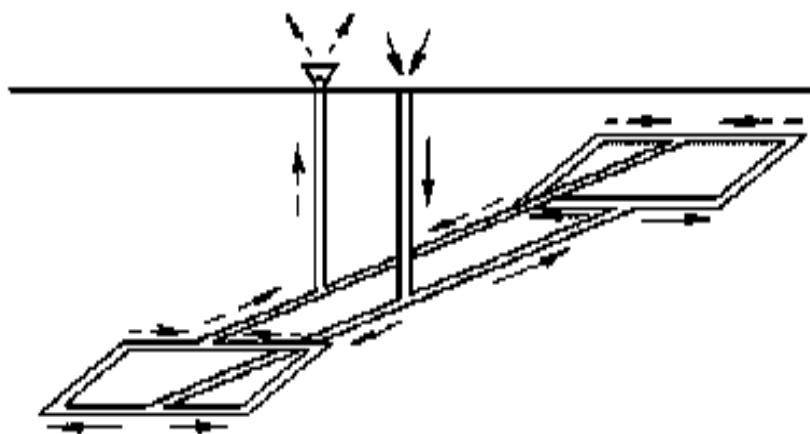


Рис. 5. Центрально-сдвоенная схема вентиляции

При **центрально-отнесённой схеме** (рис. 6) стволы располагаются на значительном расстоянии друг от друга, в направлении падения (восстания) пласта, в центре шахтного поля относительно простирания пласта. Эта схема применяется при отработке верхней части шахтного поля.

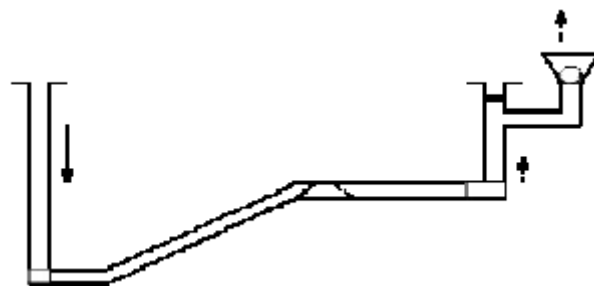


Рис. 6. Центрально-отнесённая схема вентиляции

Фланговые (диагональные) схемы (рис. 7) применяются при вскрытии шахтного поля в центре и на границах. Как правило, в центре шахтного поля располагаются один или два воздухоподающих ствола, а на границах шахтного поля – фланговые воздухоотводящие стволы. Воздух по всей длине крыла движется в одном направлении, поэтому фланговые схемы относятся к *прямоточным схемам*.

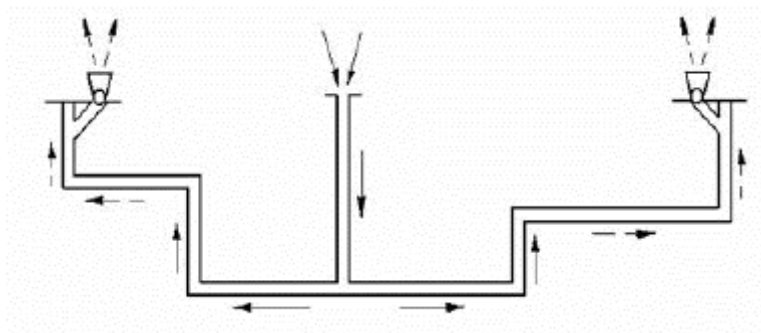


Рис. 7. Фланговая (диагональная) схема вентиляции

Комбинированные схемы 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.

3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ И СООРУЖЕНИЯ

3.1. Вентиляторные установки главного проветривания

Для перемещения воздуха по сети горных выработок необходимо произвести определенную работу, направленную на преодоление сопротивления сети горных выработок. Данную работу выполняет вентиляционная установка.

Вентиляторные установки на горных предприятиях служат для проветривания горных выработок и поддержания в них комфортных и безопасных условий труда путем создания атмосферных условий, при которых состав, скорость перемещения и температура воздуха соответствовали бы требованиям отраслевых ПБ.

Атмосферный воздух, проходя по горным выработкам, изменяет свой состав. Содержание кислорода в нем уменьшается, а углекислого газа увеличивается. Кроме того, в него попадают такие газы, как азот, оксид углерода, сероводород, сернистый газ, оксиды азота, метан, а также пыль, пары воды и другие вещества, выделяющиеся из горных пород и образующиеся при производстве горных работ.

Все шахты и рудники, в которых хотя бы в одной выработке был обнаружен метан, относят к опасным по газу, что влечет за собой дополнительные требования к обеспечению безопасности.

Большую опасность при ведении горных работ представляет образование тонкодиспергированной пыли, наличие которой не только вызывает у людей специфичные заболевания, но во взвешенном состоянии может легко привести к ее воспламенению и взрыву.

С учетом отмеченного выше, процесс проветривания горных выработок должен обеспечить в рудничном воздухе необходимое количество кислорода, а также разбавить выделяющиеся вредные газы и вещества до допустимых концентраций, что и определяет в основном объем воздуха, который необходим для проветривания. Этот процесс осуществляется с помощью специальных вентиляторов, предназначенных для горной промышленности.

По назначению вентиляторные установки подразделяются на:

- главные;
- вспомогательные;
- местного проветривания.

Вентиляторные установки главного проветривания предназначены для вентиляции всех выработок горного предприятия (шахты, рудника, карьера) или его части (крыло, блок, панель и т.д.). В соответствии с ПБ на шахтах и подземных рудниках эти установки располагаются на поверхности у устья герметически закрытых стволов, шурфов, штолен и скважин.

Вспомогательные вентиляторные установки предназначены для проветривания стволов и капитальных выработок при их проходке, а также отдельных участков горного предприятия. Обычно они располагаются, как и главные, на дневной поверхности.

Вентиляторные установки местного проветривания используются для вентиляции тупиковых выработок, забоев и отдельных застойных зон.

Соответственно по назначению разделяются и вентиляторы: вентиляторы главного проветривания, вспомогательные вентиляторы и вентиляторы местного проветривания.

По способу проветривания главные вентиляторные установки подразделяют на всасывающие и нагнетательные. Всасывающий способ проветривания применяют, как правило, на шахтах, опасных по газу, нагнетательный – на шахтах, не опасных по газу. Иногда применяют нагнетательно-всасывающий способ проветривания. В этом случае два вентилятора работают последовательно – один на нагнетание, а другой на всасывание.

В составе главных и вспомогательных вентиляторных установок используют как **осевые**, так и **центробежные вентиляторы**. Вентиляторы местного проветривания являются в основном осевыми.

Карьерные вентиляторные установки разделяются, кроме того, на стационарные и передвижные. Стационарные установки, как правило, имеют систему закрытых каналов (подземных выработок или трубопроводов), по которым подается в карьер или отсасывается из него воздух. Передвижные вентиляторные установки изменяют свое местоположение по мере перемещения зон максимального выделения пыли и вредных газов в карьере и не имеют специальных каналов для подачи по ним воздуха. Воздушный поток, формируемый проточной частью вентиляторного агрегата, по выходе из него распространяется в атмосфере карьерного пространства, вовлекая в движение значительные ее массы за счет сил трения и эжектирующего действия потока.

На всех шахтах обязательно оборудуются **вентиляционные установки главного проветривания (ВУГП)**.

Основные требования к ВУГП:

- обеспечение подачи в шахту необходимого количества воздуха (депрессия шахты и участков, не должна превышать максимально допустимые величины);
- минимальные утечки воздуха;
- управляемость воздушными потоками в шахте;
- устойчивость совместной работы вентиляторов;
- обеспечение минимальной эндогенной пожароопасности шахт;
- быстрое и надежное реверсирование вентиляционных струй (при пожарах в зоне общешахтного реверсирования вентиляции).

ВУГП располагаются на поверхности у устьев закрытых стволов и состоят из двух самостоятельных вентиляторных агрегатов, один из которых **рабочий**, а другой является **резервным**. **Вентиляторы выбираются одного типа и размера!!!!!!**

Рабочий и резервный вентиляторы соединяются со стволом шахты системой вентиляционных каналов: подводящего, всасывающих, нагнетательных, обводных и диффузора с выходной частью. Каналы

выполняются в бетоне в комплексе со зданием, в котором размещаются вентиляторные агрегаты.

Кроме того, главные вентиляторные установки должны быть оборудованы реверсивными устройствами, которые должны обеспечивать изменение направления воздушного потока (вентиляционной струи) на противоположное во всех горных выработках, проветриваемых за счёт общешахтной депрессии. Если уровень шума вентиляторных установок выше допустимых норм, то они должны оборудоваться глушителями шума.

Таким образом, в общем случае ВУ состоит из двух вентиляторов, привода, подводящего канала вентилятора, диффузора, глушителей шума, выходного канала, обводного канала, ляды и лебедок, пусковой и защитной аппаратуры зданий.

Вспомогательное оборудование включает в себя: ляды, с помощью которых перекрываются вентиляционные каналы; механизмы для открывания и закрывания ляд; устройства для уплотнения ляд; люки для доступа в каналы. Ляды выполняются по типу падающих или самоходных вертикальных дверей. В качестве привода ляд применяются лебедки с системой канатов (падающие ляды), а также цепной привод с червячным редуктором и винтовой с мотор-редуктором для самоходных вертикальных ляд.

Ляда — подвижное вентиляционное устройство дверного типа для отделения воздушных струй друг от друга или управления ими; перекрывает доступ воздуха в вертикальные и наклонные выработки (шурфы, восстающие, слепые стволы и т. п.) или каналы вентиляторных установок.

Выполняется в основном из досок на деревянной раме или из листового железа, усиленного уголками, на бетонной раме. Открывание (закрывание) ляды осуществляется вручную или с помощью лебёдок дистанционно.

Диффузор — часть канала (трубы), в которой происходит замедление (расширение) потока и увеличение давления.

Компоновка вентиляторной установки определяется типом вентилятора: осевой или центробежный, с одно- или двухсторонним входом, реверсивный или нет.

В зависимости от типа вентилятора, схемы вентиляторных установок могут быть двух основных видов с одним и двумя обводными каналами.

Так, для осевых вентиляторов схема установки, чаще всего, имеет следующий вид (рис. 8)

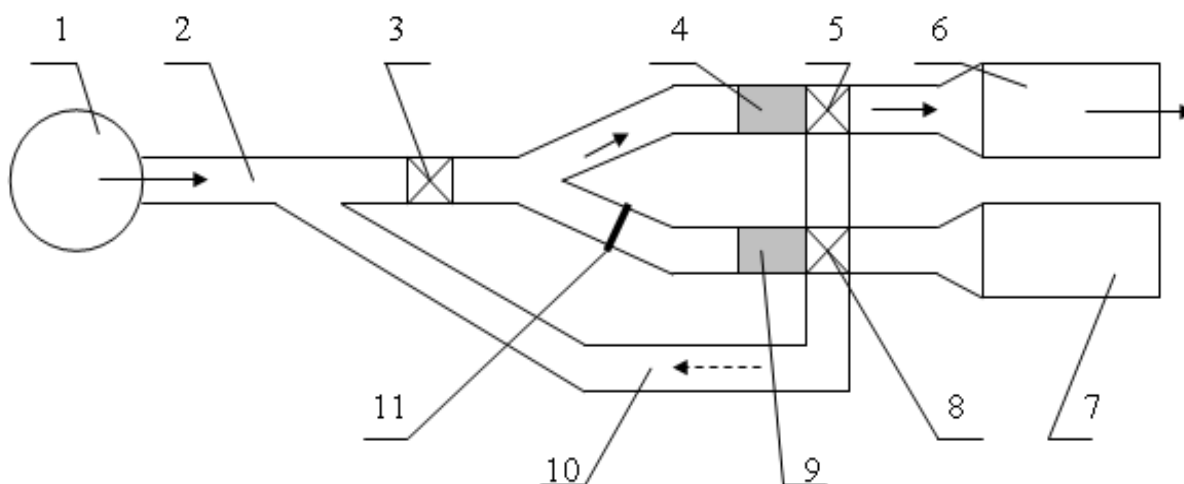


Рис. 8. Схема вентиляторной установки с осевыми вентиляторами:
 1- ствол; 2 - основной участок канала; 3 – лядя воздухозаборной будки; 4 - рабочий вентилятор; 5 - лядя обводного канала рабочего вентилятора; 6 – диффузор рабочего вентилятора; 7- диффузор резервного вентилятора; 8 – лядя обводного канала резервного вентилятора; 9 – резервный вентилятор; 10 – обводной канал; 11 - шибер резервного вентилятора

Осевые вентиляторы главного проветривания, выпускаемые серийно, охватывают диапазон подач от 10 до 580 м³/с и статических давлений от 600 до 3900 Па и предназначены для проветривания горных предприятий с относительно небольшим сопротивлением вентиляционной сети. Все они выполнены по двухступенчатой схеме и имеют спрямляюще-направляющий аппарат, расположенный между рабочими колесами 1-й и 2-й ступеней, и спрямляющий аппарат за рабочим колесом 2-й ступени.

Технические данные осевых вентиляторов типа ВОД (вентилятор осевой двухступенчатый) приведены в приложении А.

Большинство осевых вентиляторов типа ВОД имеют реверсивное исполнение. Реверсирование вентиляционной струи осуществляется изменением направления вращения рабочих колес и угла установки лопастей направляющих и спрямляющих аппаратов. Поэтому установки с реверсивными осевыми вентиляторами не имеют обводных каналов, всасывающей будки и реверсивных ляд, а путь движения воздушного потока является прямоточным как при нормальной работе, так и в режиме реверсирования. Это значительно упрощает общее устройство установок с такими вентиляторами.

В установках с центробежными вентиляторами (рис. 9) для каждого вентилятора оборудуется свой обводной канал.

Центробежные вентиляторы главного проветривания в соответствии с ГОСТ 11004-84 изготавливаются одноступенчатыми с односторонним (ВЦ) и двусторонним (ВЦД) подводом воздуха с диаметрами рабочих колес от 1,6 до 4,75 м, номинальной подачей от 2450 до 7000 Па. Технические данные

центробежных вентиляторов главного проветривания приведены в приложении Б.

Основным способом регулирования рабочего режима центробежных вентиляторов главного проветривания является изменение угла установки лопаток входного направляющего аппарата (НА). На отдельных моделях центробежных вентиляторов предусмотрено регулирование режима изменением частоты вращения приводного электродвигателя.

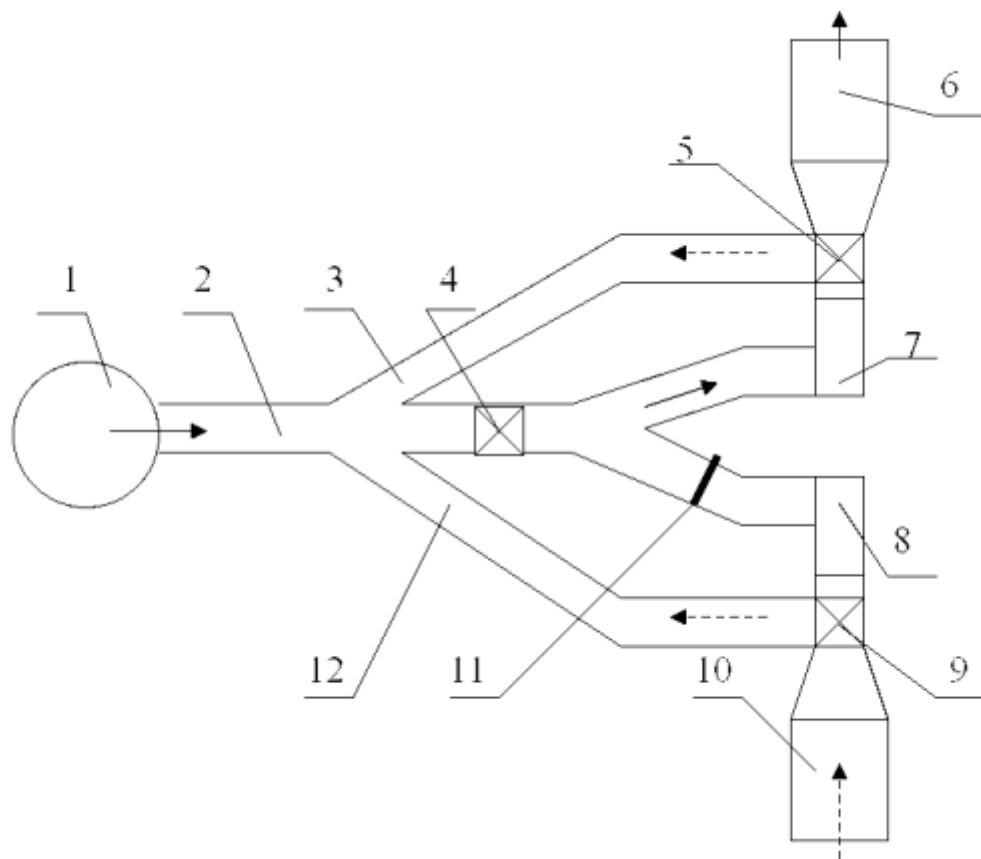


Рис. 9. Схема вентиляторной установки с центробежными вентиляторами:

1 – ствол; 2 – канал вентилятора; 3, 12 – обводные каналы рабочего и резервного вентиляторов; 4 – лядя воздухозаборной будки; 5, 9 – ляди обводных каналов; 6, 10 – диффузоры рабочего и резервного вентиляторов; 7, 8 – рабочий и резервный вентиляторы; 11 – лядя канала резервного вентилятора

Центробежные вентиляторы являются не реверсивными. Поэтому вентиляторные установки с центробежными вентиляторами имеют обводные каналы, по которым воздух нагнетается в шахту при реверсивном режиме работы вентилятора. Для компоновки таких установок характерен так же общий диффузор для обоих вентиляторов, который на некоторой высоте переходит в сужающуюся надстройку (конфузор).

Конфузор - участок проточного канала (трубы) в виде усеченной пирамиды или усеченного конуса где собирается воздух, который сжимается, увеличивая скорость потока.

Давление при переходе от широкого входного к узкому выходному сечению падает, а скорость и, следовательно, кинетическая энергия потока возрастают.

3.2. Требования промышленной безопасности к устройству главной вентиляторной установки

Проветривание подземных выработок должно производиться при помощи непрерывно действующих вентиляторных установок, расположенных на поверхности не ближе 20 м от устьев стволов, шурфов, штолен, скважин.

Главные вентиляторные установки должны состоять не менее чем из двух вентиляторных агрегатов, причем один из них должен быть резервным. Вентиляторы должны быть одного типа и одинаковой производительности.

На негасовых шахтах главные вентиляторные установки могут состоять из одного агрегата с резервным электроприводом.

Все вентиляторы, должны быть оборудованные тормозными или стопорными устройствами, которые препятствуют самопроизвольному вращению ротора вентилятора.

При проектировании и эксплуатации вентиляторных установок должны предполагаться специальные предупредительные меры относительно обмерзания проточной части вентиляторов, каналов и переключающих устройств, а также предупредительные меры относительно попадания в проточную часть вентиляторной установки частиц горной массы (штыба) и воды. Вентиляционные каналы должны регулярно очищаться от пыли, инородных тел и оборудования, а также иметь оборудованный шлюзом выход на поверхность.

В канале вентиляторной установки в местах соединения со стволом (шурфом, буровой скважиной) и перед колесом вентилятора должны устанавливаться защитная решетка высотой не меньше 1,5 м.

Главные вентиляторные установки должны обеспечивать реверсирование вентиляционной струи во всех горных выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии.

Перевод вентиляторных установок на реверсивный режим работы должен выполняться не дольше 10 минут. Расход воздуха, который проходит по выработкам в реверсивном режиме проветривания, должна составлять не меньше 60 % от расхода воздуха, который проходит по ним в нормальном режиме. При этом содержание метана в каждой выработке не должен превышать 2 %.

На всех шахтах не реже двух раз в год (летом и зимой), а также при изменении схемы проветривания и после замены вентиляторов должно проводиться по плану, согласованном с командиром ГВГСС (гос. военизированная горноспасательная служба), реверсирование вентиляционной струи в выработках, а также проверка других вентиляционных режимов согласно ПЛА (план ликвидации аварий).

Вентиляторные установки должны быть оснащены всеми контрольно-измерительными приборами, предусмотренными проектом. Информация о рабочих параметрах вентиляторной установки (подача, давление, положение ляд) должна выводиться на диспетчерский пункт шахты.

В здании вентилятора, а для автоматизированных установок также и в пункте управления, должны быть вывешенные: схема реверсирования вентиляторной установки, схема электроснабжения, индивидуальные характеристики вентиляторов и инструкция для машиниста или лица, которое обслуживает пульт управления вентиляторной установкой.

На шахтах III категории, сверхкатегорных и опасных по ГДЯ(газодинамическим явлениям) при установлении электрооборудования общего назначения в помещении, через которое проходит канал или диффузор вентиляторной установки, должна предусматриваться принудительная нагнетательная вентиляция, которая включается при остановке вентилятора.

3.3. Вентиляционные сооружения

Все вентиляционные сооружения шахты можно, условно, разделить на три группы: для пропуска вентиляционной струи, для разделения вентиляционных потоков и для регулирования расхода воздуха в выработках.

К первой группе относятся вентиляционные каналы, кроссинги (воздушные мосты), продольные перегородки.

Ко второй – глухие перемычки и шлюзы.

К третьей – перемычки с регулирующими окнами и ляды.

От правильного устройства и эксплуатации вентиляционных сооружений зависит обеспеченность рабочих мест необходимым количеством воздуха.

По вентиляционным каналам воздух подводится от стволов к ВГП или, наоборот – от вентиляторов к стволам. Они должны быть герметичными и иметь небольшое аэродинамическое сопротивление. Герметичность обеспечивает минимальные подсосы (утечки) воздуха с поверхности земли, а уменьшение сопротивления каналов снижает величину депрессии вентилятора, необходимую для обеспечения нормального (аварийного) режима проветривания горных выработок.

Кроссингом(рис. 10) называют вентиляционное сооружение для «перебрасывания» одного потока воздуха (1), через другой (2), в местах пересечения двух горных выработок. По оба бока кроссинга устраивают шлюзы (3), каждый из которых оборудован двумя парами нормальных и «реверсивных» дверей. «Реверсивные» двери препятствуют «закорачиванию» воздуха, при изменении направления движения воздуха в горных выработках.

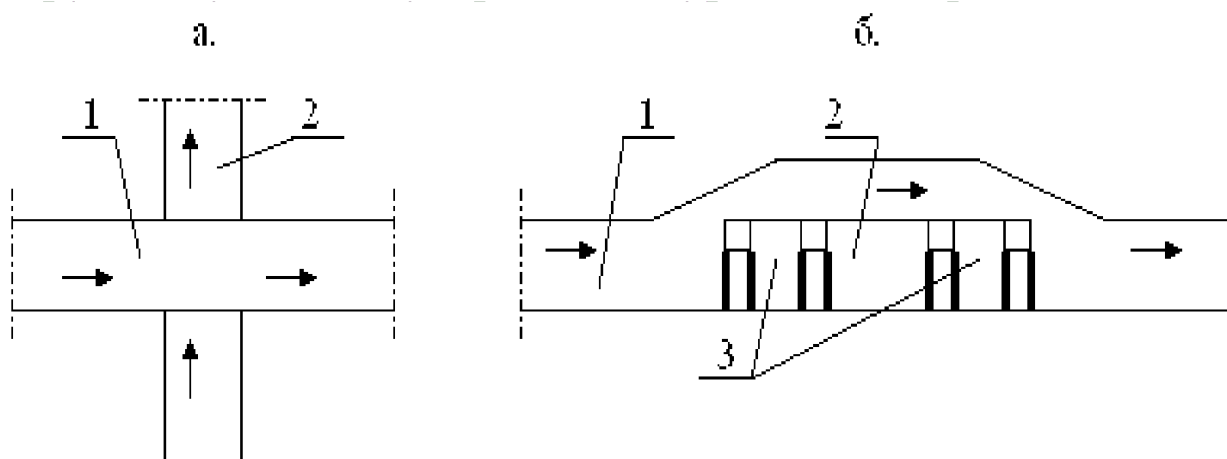


Рис. 10. Упрощенная схема движения воздуха по кроссингу
а – схема пересечения выработок; б – схема кроссинга

«Закорачиванием» воздуха называют закорачивание вентиляционной струи. Термин «закорачивание» означает, как правило, движение воздуха из выработки, по которой идет свежая струя, в выработку с исходящей струей, по кратчайшему пути. В этом случае, основная часть воздуха, не поступает к объекту проветривания, а идет «накоротко» в выработки с исходящей струей. В нормальных условиях работы шахты «закорачивание» рассматривается, как недопустимое явление, потому, что на газовой шахте это может привести к загазированию выработок. В аварийных условиях «закорачивание» может предварительно предусматриваться в плане ликвидации аварий и считается аварийным вентиляционным режимом.

Кроссинги бывают участковые и капитальные. Скорость движения воздуха в кроссинге не должна превышать 10 м/с.

Участковые кроссинги, пропускающие менее 5 м³/с воздуха, могут сооружаться из металлических или железобетонных труб с площадью сечения $\geq 0,5$ м² и толщиной стенки металлической трубы ≥ 2 мм. При расходе воздуха > 5 м³/с сооружаются кроссинги типа «перекидной мост». При расходе воздуха 20 м³/с и более должны проводиться обходные выработки с плавными сопряжениями, имеющие такие же сечения и крепь, как и выработки, к которым они примыкают. Сооружаются кроссинги из камня, бетона или железобетона. Перемычки у кроссингов делаются каменными или бетонными. Для кроссингов из труб допускается устройство чураковых перемычек.

Кроссинги бывают трех основных типов: трубчатые, кроссинги типа перекидного моста, кроссинги типа обходной выработки.

Трубчатые кроссинги предназначены для пропуска струй с расходом воздуха до 4 м³/с. Представляют собой металлическую трубу диаметром не менее 0,5-0,75 м, пересекающую встречную выработку или проходящую над ней, вставленную в изолирующие перемычки, сооруженные на пересечении с выработкой (рис.11)

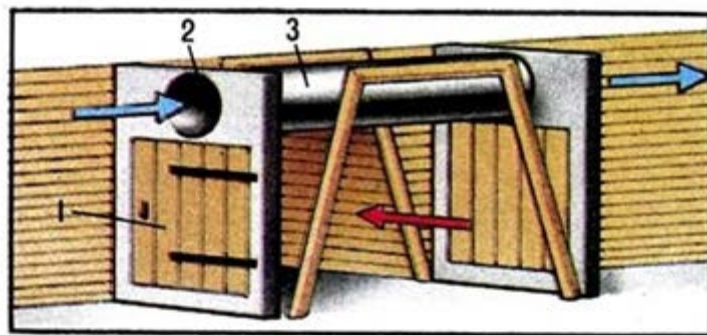


Рис.11.Трубчатый кроссинг

В перемычках устраивают двери для прохода людей, вагонеток. Для снижения аэродинамического сопротивления кроссинга на входе трубы устанавливают коллектор, на выходе — диффузор.

Кроссинг типа перекидного моста используют при расходах воздуха до $20 \text{ м}^3/\text{с}$ и значительным сроком службы. Представляют собой бетонный канал, устраиваемый в кровле пласта (рис. 12); отличаются высокими аэродинамическими качествами.



Рис.12.Кроссинг типа перекидного моста

Кроссинги типа обходной выработки предназначены для пропуска воздушных струй с расходом до $20 \text{ м}^3/\text{с}$ и более при значительных сроках эксплуатации сооружения. Выработку проводят по породе в кровле или почве пласта (рис. 13).

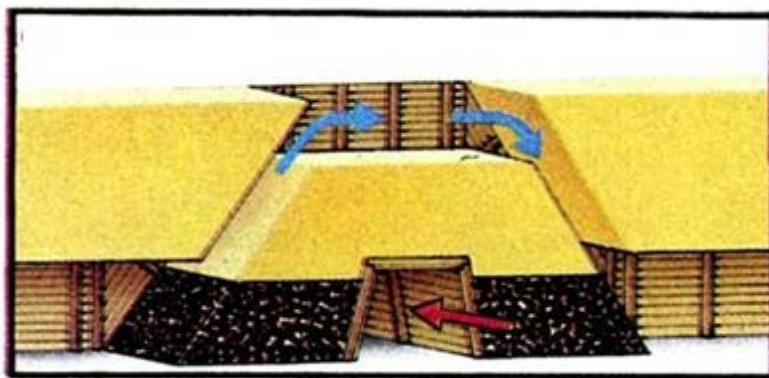


Рис.13.Кроссинги типа обходной выработки

Перемычки служат для ограничения движения воздуха по горным выработкам. Перемычки, в зависимости от требований герметичности, места установки и назначения, возводят из разных материалов: дерево, кирпич, бетонит, бетон, гипс. В тех случаях, когда нужна перемычка с повышенной герметичностью, ее устанавливают, предварительно разобрав крепь выработки и сделав круговой вруб. Перемычки из бетона или гипса возводят с помощью опалубки.

Глухие перемычки служат для прекращения движения воздуха по изолированным или погашенным выработкам. Полная изоляция (прекращение движения воздуха), как правило, невозможна. Перемычка, выложенная из чураков, с использованием глины, обладает минимальной герметичностью. Максимальной герметичностью обладают литые перемычки с использованием специальных герметизирующих покрытий. Глухие перемычки обязательно возводятся на шахтах, обрабатывающих пласты, склонные к самовозгоранию.

Для прохода людей или транспортировки грузов в перемычках делают проемы, в которых могут быть навешены вентиляционные двери. Двери могут быть одностворчатые (только для прохода людей) и двустворчатыми (для прохода людей и транспортировки материалов). Каждая перемычка оборудуется двумя видами дверей – нормальными и реверсивными. В некоторых случаях, при больших перепадах давления, для облегчения открывания двери, она оборудуется разгрузочным окном или специальным рычагом. Для того чтобы двери были всегда в закрытом состоянии после прохода людей, они оборудуются специальными пружинами или контргрузами, а лутки дверей имеют наклон (чтобы двери закрывались под своим весом).

Если перемычки используются в качестве регуляторов воздухораспределения, то в них может быть предусмотрено специальное отверстие – окно, величина которого определяется специальным расчетом. В некоторых случаях, в выработках, с интенсивным перемещением грузов, устанавливают автоматические двери, которые открываются и закрываются с помощью специальных механизмов. Несколько перемычек могут образовывать одно вентиляционное сооружение.

Две перемычки (как минимум) с дверями, расположенные в выработке, разделяющей свежую и исходящую струи, образуют **шлюз**. Шлюз препятствует закорачиванию вентиляционной струи, поэтому одновременно открывать двери во всех перемычках одного шлюза запрещено. Для предотвращения одновременного открывания дверей, они оборудуются специальными блокировками (механическими или электрическими).

Противопожарные перемычки устанавливают, как правило, в начале и в конце наклонных выработок, в камерах у стволов. Их назначение – предупредить распространение пожара по выработке или предупредить попадание в выработки горящих предметов. Створки дверей и рама этих перемычек изготавливаются из металла.

В выработках, оборудованных рельсовым или конвейерным транспортом, в противопожарных перемычках предусматривают специальные проемы или окна, которые должны закрываться резиновыми фартуками, для уменьшения утечек воздуха. В аварийных условиях противопожарные двери могут использоваться в качестве регуляторов расхода воздуха. Существуют также взрывоустойчивые перемычки, которые устанавливаются в начале конце склада взрывчатых материалов.

В некоторых случаях, для разделения вентиляционных струй или для уменьшения расхода воздуха, используют шиберы и ляды. Ляды могут быть как металлическими, так и деревянными, одно- или двустворчатыми. Например, металлические ляды в вентиляторных установках используются для реверсирования вентиляционной струи в шахте.

Отличие шибера от ляды в том, что шибер открывают, сдвигая его в сторону, а ляда поворачивается на специальных навесах.

3.4. Регулирование расходов воздуха в горных выработках

Все виды регулирования можно разделить на две основные группы:

- изменение режима работы источника тяги (вентилятор, эжектор);
- изменение аэродинамического сопротивления горной выработки.

Первый вид регулирования применяется достаточно редко – один раз в несколько лет. Это происходит в тех случаях, когда, в результате развития шахты, или по другим причинам, увеличивается ее аэродинамическое сопротивление (например, длина горных выработок) и уменьшается подача воздуха в горные выработки. В этом случае, для увеличения подачи воздуха в шахту, увеличивается угол установки лопаток вентилятора – вентилятор «переводится» на вышележащую рабочую характеристику. Если на шахте отработаны все запасы полезного ископаемого и ведется погашение выработок, то аэродинамическое сопротивление вентиляционной сети уменьшается, и для уменьшения подачи воздуха в шахту, вентилятор «переводят» на ниже лежащую рабочую характеристику.

Второй вид регулирования применяется постоянно, в течение всего срока службы шахты. Его можно назвать оперативным регулированием

распределения воздуха. При этом выделяют «отрицательное» и «положительное» регулирование.

Под «отрицательным» понимают регулирование, связанное с увеличением аэродинамического сопротивления горных выработок, а «положительное» – связано с его уменьшением.

«Отрицательное» регулирование применяют для увеличения расходов воздуха в одной выработке (группе выработок, выемочном поле или участке), за счет его сокращения в другой выработке или в какой-то части шахты. Для этого используют стационарные вентиляционные сооружения – вентиляционные перемычки с регулирующими окнами (регуляторы или вентиляционные окна).

«Положительное» регулирование осуществляют, уменьшая сопротивление выработки, убирая из нее упомянутые выше регуляторы, или уменьшая их сопротивление.

Эти же виды регулирования используются и в аварийных условиях (кроме перекрепления), когда, по каким-то причинам, необходимо уменьшить или увеличить расходы воздуха в какой-то части шахты.

Регулирование воздухораспределения может осуществляться и с помощью вентиляционного окна. Вентиляционное окно представляет собой, как правило, прямоугольное отверстие (рис. 14) в дверях или перемычке (над дверным проемом или сбоку). Его устанавливают в выработке, где необходимо уменьшить расход воздуха.

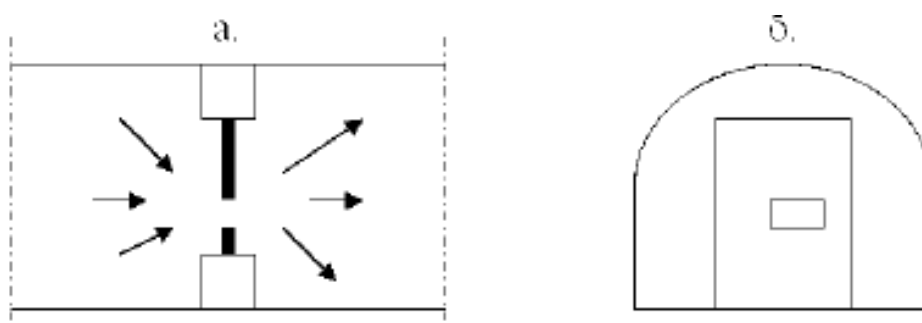


Рис. 14. Вентиляционное окно в продольном (а) и поперечном (б) сечении выработки

Сечение окна определяется, как правило, предварительно, специальным расчетом. Окно оборудуется задвижкой, что позволяет изменять сечение окна, а, следовательно, и расход воздуха в выработке.

Практические задачи регулирования, связаны, прежде всего, с выбором места установки регулятора. В некоторых случаях может оказаться, что установка регулятора не даст ожидаемого эффекта - в выработке, где установлен регулятор, расход воздуха уменьшится, а ожидаемого увеличения расхода воздуха в объекте регулирования, не произойдет. Чаще всего, причиной этого является «удаленность» объекта регулирования от выработки, в которой установлен регулятор. В результате, эффект усиления вентиляционной струи, как бы «гасится» в вентиляционной сети. Другими словами, все горные

выработки и, примыкающие к ним, выработанные пространства, расположенные между местом установки регулятора и объектом регулирования, играют роль своеобразного демпфера или буфера. «Возмущение», вызванное установкой регулятора, «затухает», по мере удаления от выработки, в которой этот регулятор установлен.

3.5. Утечки воздуха

Одной из особенностей проветривания подземных выработок является наличие потерь воздуха, по пути его движения от устья воздухоподающих стволов к основным объектам проветривания шахты: очистным и подготовительным забоям, камерам и т.д. Утечки (подсосы) воздуха происходят через выработанные пространства, которые возникают после выемки полезного ископаемого, бутовые полосы, целики, вентиляционные сооружения. Утечки воздуха влияют на вентиляцию отдельных выработок, выемочных полей и шахты в целом. Для их компенсации необходимо увеличивать подачу воздуха в шахту. Просачивание воздуха через целики полезного ископаемого и выработанные пространства с остатками полезного ископаемого, может привести к возникновению эндогенного пожара.

Все утечки воздуха можно разделить на две основных группы: поверхностные (внешние) и подземные (внутренние).

Поверхностные утечки (подсосы) воздуха – это утечки через неплотности надшахтных сооружений, вентиляционных каналов, ляды вентиляционных установок, через перекрытия и перемычки в устьях стволов, шурфов и др. Суммарная величина поверхностных утечек (подсосов) воздуха определяется как разница между подачей вентилятора (вентиляторов) главного проветривания, установленного на поверхности, и расходом воздуха, поступающим в шахту.

Подземные (внутренние) утечки воздуха – это утечки через вентиляционные сооружения, погашенные выработки, выработанные пространства, нарушенные целики.

Утечки можно разделить на местные и распределенные. К местным утечкам относятся утечки через вентиляционные сооружения и отдельные погашенные (погашаемые) выработки, которые связывали между собой выработки с поступающим и исходящим потоками воздуха, в каких-то, определенных, местах вентиляционной струи. К распределенным утечкам относятся утечки через выработанные пространства. Эти утечки распределены по длине выработки, примыкающей к выработанному пространству или нарушенным целикам.

3.5.1. Утечки воздуха через вентиляционные сооружения

Величина утечек воздуха через вентиляционные сооружения, предназначенные для разделения потоков со свежей и исходящей струей воздуха, зависит от перепада давления, через эти сооружения, и качества их

изготовления. В общем случае, аэродинамическое сопротивление (R_{yt}) пути движения воздуха определяется по известному закону сопротивления для турбулентного режима движения воздуха:

$$R_{ym} = h_{ym}/Q_{ym} \quad (1)$$

Места возникновения утечек воздуха зависят от вида вентиляционного сооружения. В глухих перемычках – это места контакта «тела» перемычки с окружающими породами (по периметру выработки). Максимальные утечки воздуха наблюдаются через деревянные перемычки, а минимальные – через бетонные и гипсовые.

При прочих равных условиях, величина утечек будет увеличиваться с увеличением периметра перемычки и уменьшением ее толщины. Если в перемычке есть двери, то основная часть воздуха просачивается в местах примыкания двери к раме, через саму дверь и под ней.

Если вентиляционное сооружение состоит из двух, трех или четырех перемычек, то коэффициент, учитывающий число перемычек будет равен соответственно 0,76; 0,66; 0,57.

При проектировании шахты, величина утечек воздуха через перемычки и вентиляционные сооружения нормируется, а аэродинамическое сопротивление определяется, в зависимости от коэффициента воздухопроницаемости и площади перемычки (периметра), с учетом состояния боковых пород, в месте установки перемычки.

При определении сопротивления вентиляционных дверей учитывается, также, площадь вентиляционных дверей, а для шлюза – количество дверей. Величина нормативных утечек воздуха, через глухие перемычки и вентиляционные шлюзы, находится в пределах, соответственно, 7 – 42 и 19 – 82 м³/мин.

Контроль внутренних утечек воздуха, через вентиляционные сооружения, имеет свои особенности. Например, если величина расхода воздуха достаточно большая (может быть измерена шахтным анемометром), то, в зависимости от условий конкретной выработки, место измерения воздуха должно отвечать специальным требованиям. Желательно, что бы оно было на расстоянии 5-12 b (b – ширина выработки) от вентиляционного сооружения и ближайшего сопряжения с другими выработками.

При измерении скорости воздуха перед перемычкой (по ходу воздушного потока), оно должно быть удалено от нее на расстояние не менее 5b, а за перемычкой – не ближе 12b.

Если невозможно измерить скорость воздуха в выработке с вентиляционным сооружением, то величину утечки воздуха определяют по разнице расходов воздуха, которые измеряют в других выработках, связанных с рассматриваемой.

При небольших величинах утечек воздуха, для их измерения, с достаточной для практических целей точностью, можно использовать специальную, легкую (переносную) перемычку. Измерение скорости воздуха, в

этом случае, делают в специальном окне, расположенном в перемычке, а расход определяют по формуле:

$$Q_{yt} = V \cdot S_{ок} \quad (2)$$

где V – скорость воздуха, измеренная в окне, м/с;

$S_{ок}$ – площадь окна в перемычке, м².

Герметичность вентиляционных сооружений со временем уменьшается из-за проявления горного давления и повышенной влажности. После ремонта перемычки восстанавливают полностью свои аэродинамические свойства, т.к. разрушается не только внешняя часть, но и тело перемычки.

3.5.2. Утечки воздуха через выработанные пространства

Расход воздуха через выработанное пространство с откаточного (конвейерного) штрека на вентиляционный, относят к распределенным (рассредоточенным) утечкам (в случае примыкания штреков к выработанному пространству). Их величина может составить 30 % и более от расхода воздуха, поступающего в начало откаточного штрека. Влияние этих утечек воздуха на содержание метана в лаве и вентиляционном штреке зависит от схемы отработки и

проветривания выемочного участка. Величина утечек зависит от перепада давления между откаточным и вентиляционным штреком, схемы проветривания участка, аэродинамического сопротивления выработанного пространства. Максимальные утечки воздуха, как правило, наблюдаются на расстоянии до 50 м от забоя лавы. По мере удаления от лавы утечки воздуха уменьшаются и, на расстоянии 500-600 м, становятся равными нулю. Исследования показывают, что, начиная с расстояния 50 м от лавы, режим движения воздуха на путях утечек близок к ламинарному.

Эти утечки воздуха могут выполнять положительную роль, разбавляя метан и не допуская его выход в призабойное пространство лавы при прямом порядке отработки. А могут приводить к образованию опасных скоплений метана на сопряжении с вентиляционным штреком.

В практике моделирования шахтных вентиляционных сетей, как правило, особенности распределения утечек воздуха через выработанное пространство не учитывают. В некоторых случаях, движение утечек воздуха через выработанное пространство, моделируют одной ветвью параллельной лаве. Сопротивление этой ветви подбирают так, чтобы его величина отвечала соотношению расходов воздуха в лаве и на путях утечек. Общая величина утечек, в пределах выемочного участка, определяется как разница расходов воздуха в начале откаточного штрека и в 15-20 м от окна лавы (сплошная система разработки).

3.5.3. Внешние утечки воздуха

Внешние утечки воздуха могут достигать 40 % от подачи ВГП. С их увеличением уменьшается подача воздуха в шахту. Их величина зависит от того, на каком стволе установлен ВГП (скиповый, вентиляционный; используется для подъема или нет).

Для уменьшения внешних утечек воздуха необходимо обеспечить тщательную герметизацию всех реверсивных устройств и той части надшахтного здания, которая примыкает к стволу.

3.6. Утечки воздуха

3.6.1. Проветривание выемочных участков

Понятие выемочного участка, с точки зрения вентиляции шахты, означает определенную систему горных выработок, включающую очистной забой (лава), откаточные (конвейерные) и вентиляционные выработки и выработанное пространство. Очистные забои являются основными объектами проветривания шахты и, именно в них, наиболее интенсивно происходят процессы газопылевыделения. Основная задача шахтной вентиляции – подать в горные выработки такой расход воздуха, при котором обеспечивается нормальная физиологическая деятельность людей, разбавление и вынос вредных газов и пыли.

Эффективность проветривания очистных выработок, в большой степени, зависит от схемы вентиляции выемочного участка. С учетом порядка отработки части выемочного поля (прямая, обратная), различают четыре основных вида схем выемочных участков. Первая – U-образная схема (рис.15).

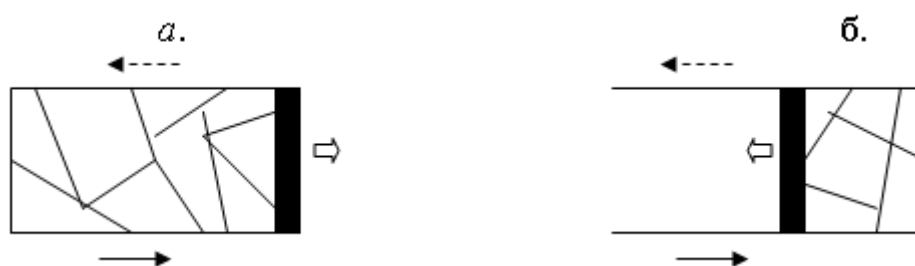


Рис. 15. U - образная схема проветривания:
а – прямой порядок отработки; б – обратный порядок отработки

Основным недостатком схемы (а) являются большие утечки воздуха через выработанное пространство, а в схеме (б) – опасность формирования повышенных концентраций метана. В этих схемах происходит последовательное разбавление вредностей (опасные газы, пыль), т.е. движущийся воздух последовательно поступает во все выработки выемочного участка, где эти вредности выделяются (откаточный штрек, лава,

вентиляционный штрек). Такие схемы вентиляции называют, также, **возвратноточными**, т.к. исходящая струя воздуха из очистного забоя, движется в направлении, противоположном поступающей.

Остальные схемы вентиляции Z, V и H- образные (рис. 16,17,18) можно отнести к прямоточным – исходящая струя воздуха из очистного забоя движется в том же направлении, что и поступающая. В Z- образных схемах, также происходит последовательное разбавление вредностей. В схемах V и H-образных предусмотрено обособленное разбавление вредностей. Эта обособленность проявляется в том, что откаточный и вентиляционный штреки проветриваются независимо. Кроме того, воздух, поступающий по вентиляционному штреку, позволяет дополнительно разбавлять вредности на выходе из очистного забоя.

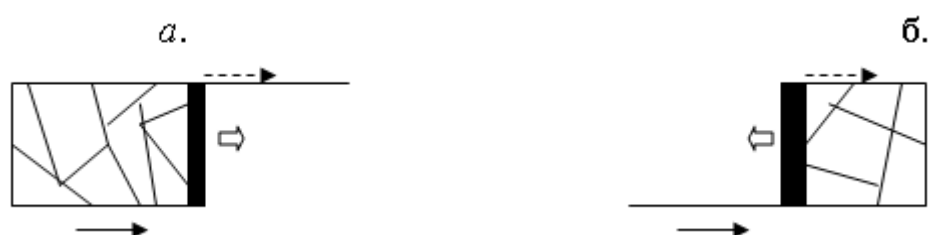


Рис. 16. Z- образная схема проветривания:
а – прямой порядок отработки; б – обратный порядок отработки

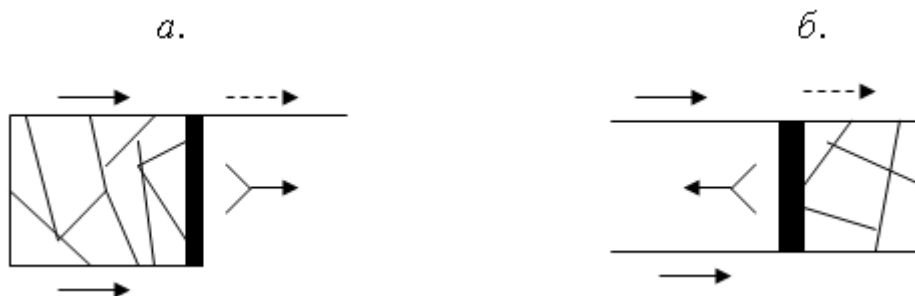


Рис. 17. V- образная схема проветривания:
а – прямой порядок отработки; б – обратный порядок отработки



Рис.18. H- образная схема проветривания:
а – прямой порядок отработки; б – обратный порядок отработки

Общее количество вариантов основных схем, которые учитывают конкретные горнотехнические условия угольного бассейна, шахты или отдельного угольного пласта, составляет более 50. Особенности их применения рассматриваются в «Руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт».

3.6.2. Вентиляция тупиковых выработок за счет общешахтной депрессии

Термин «подготовительные выработки» означает, в первую очередь, что это выработки, которые находятся в стадии проходки и, что они проходятся для подготовки к отработке какой-то части выемочного поля шахты (крыло, уклонное поле, выемочный участок). Эти выработки также называют тупиковыми, имея в виду, что человек, дойдя до ее конца, упрется в тупик и может выйти из этой выработки, только вернувшись назад. Тупиковая часть подготовительной выработки, в которой проводятся все технологические операции, связанные непосредственно с ее проходкой, называется забоем.

Все выработки шахты, по характеру проветривания, можно разделить на две группы – сквозные и тупиковые. Сквозные это те, что проветриваются за счет работы вентиляторов главного проветривания и действия естественной тяги. Тупиковые – за счет специальных устройств и вентиляторов. Вентиляцию подготовительных выработок в шахтах и рудниках называют «местным проветриванием», а вентиляторы, используемые для подачи воздуха в тупиковые выработки – вентиляторами местного проветривания (ВМП).

К вентиляции тупиковых выработок предъявляются, в общем, те же требования, что и к очистным выработкам – обеспечение нормальной физиологической деятельности людей, разбавление и вынос вредных газов.

Этот способ проветривания осуществляется с применением продольных перегородок, разделяющих выработку, по всей ее длине, на две части (рис.19а). Продольные перегородки рекомендуется применять при небольшой длине выработки (до 60 м), когда в нее необходимо подать большое количество воздуха.

Перегорodka изготавливается из досок, кирпича, прорезиненной ткани. Основное требование к ней – воздухонепроницаемость.

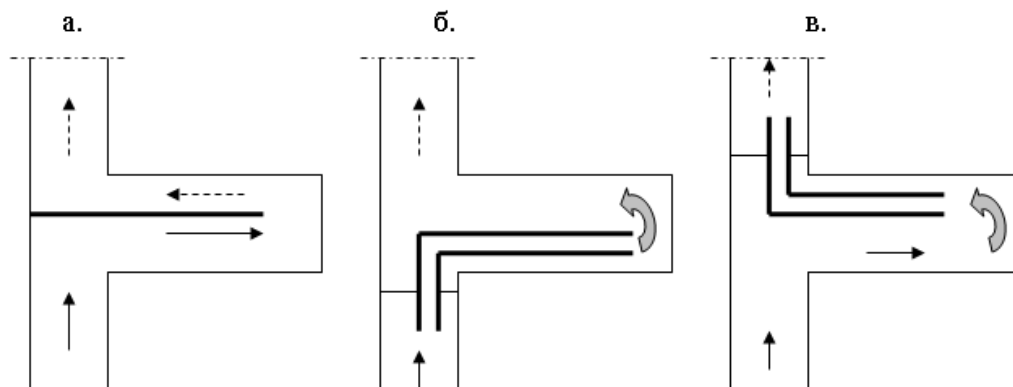


Рис. 19. Схемы проветривания тупиковой выработки с помощью перегородки (а) и вентиляционной трубы (б, в)

При проведении парных выработок, они сбиваются между собой через определенные промежутки. По мере передвижения забоев, в сбойках между ними, устанавливают вентиляционные сооружения.

3.6.3. Вентиляция тупиковых выработок с использованием вентиляторов местного проветривания

Применяются следующие способы вентиляции: нагнетательное, всасывающее и комбинированное.

Нагнетательный способ проветривания наиболее распространен (см.рис.20). Он является обязательным для газовых шахт. Достоинства этого способа заключаются в том, что забой тупиковой выработки проветривается активной вентиляционной струей, выходящей из трубопровода. Допустимое «отставание» конца трубопровода от забоя (м) определяется по формуле В.Н. Воронина:

$$L \leq 4 \cdot \sqrt{S_v} \quad (3)$$

где S_v – площадь поперечного сечения выработки, м^2 .

По Правилам безопасности это расстояние, на газовых шахтах не должно превышать 8 м.

К достоинствам этого способа проветривания, следует отнести подачу свежего воздуха в забой и снижение концентрации газов в выработке, за счет утечек воздуха из трубопровода, по длине выработки. В этом случае, утечки воздуха из трубопровода играют положительную роль.

При организации этого способа проветривания, Правила безопасности предъявляют определенные требования к месту установки вентилятора местного проветривания и его режиму работы. Так, ВМП не должен устанавливаться ближе 10 м от устья тупиковой выработки, а его подача не должна превышать 70% от расхода воздуха в месте его установки. При этом предполагается, что ВМП устанавливается в выработке со сквозным проветриванием. Эти ограничения направлены на предотвращение явления опрокидывания потока воздуха на участке между устьем выработки и местом установки ВМП. При этом возникает рециркуляция воздуха. Она возможна, если подача вентилятора больше расхода воздуха, поступающего в выработку за счет работы вентиляторов главного проветривания.

Всасывающее проветривание можно применять на негазовых шахтах. Его главным достоинством является то, что исходящий воздух отводится из выработки по трубопроводу. Однако, отставание конца трубопровода от забоя приводит к образованию застойной, слабо проветриваемой зоны. При всасывающем проветривании используются жесткие (металлические) трубопроводы.

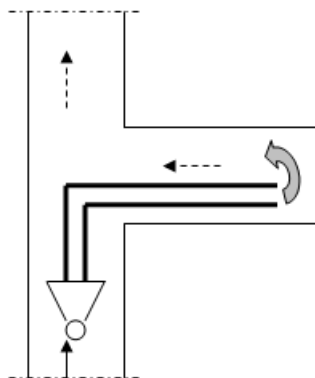


Рис. 20. Схема нагнетательного проветривания тупиковой выработки

При комбинированном способе проветривания можно применить два вентилятора (рис. 21). Один, с коротким трубопроводом, работает на нагнетание и устанавливается вблизи забоя, а второй – работает на всасывание и устанавливается у устья выработки. Этот способ проветривания рекомендуется для применения на негазовых шахтах, при скоростной проходке. Он совмещает достоинства всасывающего и нагнетательного способов проветривания.

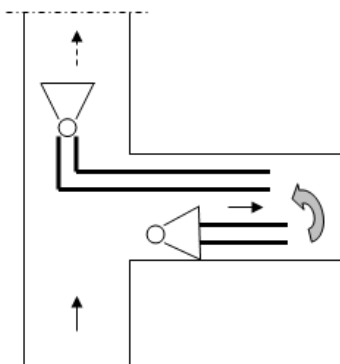


Рис.21. Схема применения комбинированного способа проветривания

Нагнетательный – обеспечивает активное проветривание призабойного пространства, а всасывающий – удаление исходящего воздуха по трубопроводу.

3.7. Вентиляторные установки местного проветривания

В настоящее время в качестве вентиляторов местного проветривания (ВМП) используют в основном осевые вентиляторы с меридиональным ускорением потока типа ВМ и ВМП, поля режимов работы которых показаны на рис. 22. Их ряд образован шестью типоразмерами электрических (ВМ) и пятью типоразмерами пневмоприводных (ВМП) вентиляторных агрегатов.

Электрические вентиляторы типа ВМ подразделяются на две группы: нерегулируемые - ВМ-3м и ВМ-4м и регулируемые - ВМ-5м, ВМ-6м, ВМ-8м и

ВМ-12м. Цифры после буквенного индекса означают номинальный диаметр присоединительных патрубков (вентиляционных груб) в дециметрах. Все вентиляторные агрегаты типа ВМ имеют похожую конструкцию и выполнены по моноблочной схеме: рабочее колесо насажено на консольную часть вала электродвигателя, а двигатель размещается в специальной втулке корпусной части вентилятора и обдувается потоком воздуха, выходящим из проточных каналов рабочего колеса. Регулирование режима работы электрических вентиляторов осуществляется с помощью лопастных направляющих аппаратов.

Технические данные вентиляторов местного проветривания с электрическим приводом представлены в приложении В.

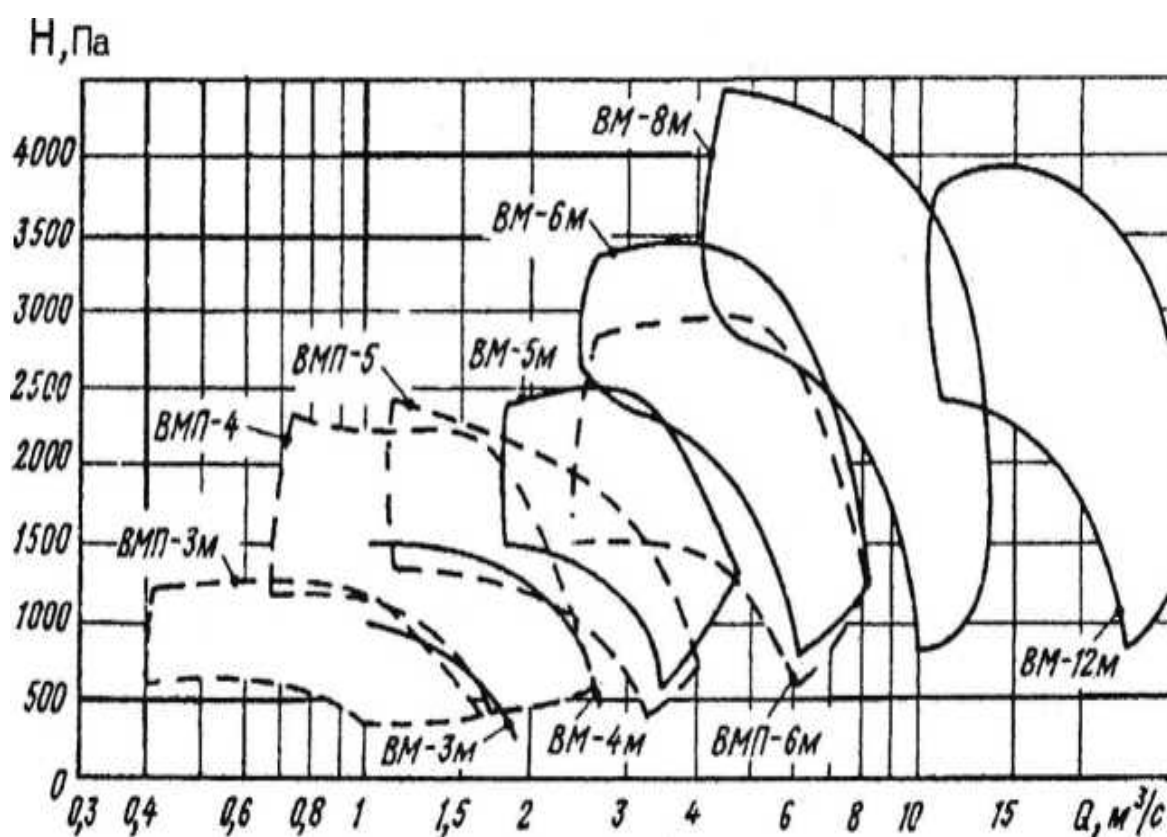


Рис. 22. Сводные графики областей промышленного использования осевых вентиляторов местного проветривания

Конструкция проточной части электрических и пневматических вентиляторов в основном одинакова. Рабочее колесо пневмоприводных вентиляторов обычно крепится на консольной части коренного вала, вмонтированного в корпус обтекателя, и снабжено ободом, по периферии которого закреплены лопасти пневматической турбины. Сжатый воздух подводится через одно, два или три сопла, в соответствии с чем изменяются частота вращения и напорная характеристика вентиляторов. Диапазон регулирования вентиляторов расширяется за счет изменения давления воздуха в питающей пневматической сети.

Технические данные вентиляторов местного проветривания с пневмоприводом типа ВМП приведены в табл. 7.

Подача воздуха вентиляторами местного проветривания, как правило, производится по трубам. Последние изготавливают из тонколистовой стали, фанеры, прорезиненных тканей, капрона и полихлорвинила. При работе вентиляторов на нагнетание предпочтение отдают гибким трубам, а для работы на всасывание необходимы жесткие (металлические или фанерные) трубы.

Длина подземных выработок, проветриваемых одним вентилятором типа ВМ, зависит от его типоразмера и колеблется от 300 до 1000 м. При последовательном соединении двух вентиляторов ВМ-8м или ВМ-12м она может достигать 1600 м.

Длина проветриваемых подземных выработок вентиляторами типа ВМП составляет 70-600 м, а при последовательной работе двух вентиляторов - до 1000 м.

Для снижения шума, создаваемого электрическими вентиляторами местного проветривания, последние снабжаются специальными глушителями, устанавливаемыми на всасывающей и нагнетательной сторонах агрегатов. Глушители изготовляют в виде трубных секций из перфорированного стального листа, покрытых звукопоглощающим материалом. Этим же материалом заполнены обтекатели, смонтированные в каждую секцию глушителя.

Таблица 7

Технические данные осевых вентиляторов местного проветривания типа ВМП

Параметры	ВМП-3М	ВМП-4М	ВМП-5М	ВМП-6М
Подача, м ³ /с: номинальная	1,0	1,83	3,17	6,0
в области промышленного использования	0,42–1,67	0,75–2,67	1,33–4,67	2,0–8,0
Полное давление, даПа: номинальное	115	180	190	270
в области промышленного использования	120–40	220–40	200–50	290–60
Максимальный полный адиабатный КПД агрегата	0,24	0,28	0,30	0,35
Масса, кг	50	50	175	270

В шахтах III категории и выше тупиковые выработки длиной более 100 м согласно Правилам безопасности, должны оборудоваться резервными вентиляторами местного проветривания с резервным электропитанием. При проведении выработок по выбросоопасным угольным пластам или породам

допускается в качестве резервных применять вентиляторы с пневматическим приводом.

Вентилятор местного проветривания, работающий на нагнетание, должен устанавливаться в выработке со свежей струей воздуха на расстоянии не менее 10 м от исходящей струи. Запрещается установка указанных вентиляторов в очистных выработках и ближе 25 м от мест постоянного присутствия людей (погрузочные пункты, посадочные площадки и т.п.). Запрещается также установка вентиляторов с электрическими двигателями в выработках с исходящей струей воздуха на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа.

Расстояние от конца вентиляционных труб до забоя в газовых шахтах не должно превышать 8 м, а в негазовых — 12 м. В конце гибких воздухопроводов должна навешиваться труба из жесткого материала длиной не менее 2 м или должны вставляться жесткие распорные кольца (не менее двух), обеспечивающие нормальное сечение выходного отверстия трубы. Гибкий воздухопровод должен подсоединяться к вентилятору местного проветривания с помощью металлического переходного патрубка заводской конструкции.

4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Основными источниками движения воздуха в шахте (руднике) являются естественная тяга и работа вентиляторов.

4.1. Естественная тяга

Естественной тягой называется движение воздуха под действием естественных причин, основными из которых являются различная плотность воздуха в двух вертикальных или наклонных выработках и скоростное давление ветра.

Использование естественной тяги для проветривания рудников известно с глубокой древности. С появлением вентиляторов роль естественной тяги в организации проветривания подземных выработок стала терять своё значение и в настоящее время практически не применяется. Тем не менее, влияние естественной тяги проявляется и при работе вентиляторов главного проветривания, внося порой существенные коррективы в распределение воздуха в вентиляционной сети. Знание влияния естественной тяги, умение замерять или находить её с помощью аналитических расчётов позволяет избежать ошибок при решении вентиляционных задач, связанных с управлением распределения воздуха в системе подземных горных выработок.

Энергию, которую получает единица объёма воздуха от источников, вызывающих естественную тягу, принято называть депрессией естественной тяги.

Рассмотрим две вертикальные выработки, заполненные воздухом с разной плотностью (ρ_1 и ρ_2), разделённые сплошной перемычкой (рис. 23).

Допустим, что $\rho_1 > \rho_2$.

Аэростатическое давление на перемычку со стороны ствола № 1 равно $P_0 + g\rho_1 H$

(P_0 – атмосферное давление; g – ускорение свободного падения; H – глубина стволов), со стороны ствола № 2 – $P_0 + g\rho_2 H$.

Разность давлений, равная $g(\rho_1 - \rho_2)H = h_e$ – депрессия естественной тяги.

При удалении разделяющей перемычки воздух в рассматриваемой системе придёт в движение за счёт этой депрессии.

Из рассмотренной схемы можно заключить, что естественная тяга имеет место в том случае, когда средние плотности воздуха двух сообщающихся вертикальных столбов будут различными. При этом воздух движется от более тяжёлого столба воздуха к более лёгкому.

Плотность воздуха, а, следовательно, и величина депрессии естественной тяги зависит, главным образом, от его температуры. Разность температур воздуха в двух стволах может иметь место в следующих случаях:

- при расположении устьев стволов на одном уровне, но, если один ствол мокрый, а другой сухой (температура воздуха в мокром стволе меньше, а плотность его, следовательно, больше, чем в сухом);

- при работе вентилятора зимой в воздухоподающем стволе воздух более холодный (естественная тяга будет того же направления, что и депрессия вентилятора), летом – наоборот;

- при расположении устьев стволов на разных уровнях;

- при вскрытии шахты штольной (естественная тяга возникает благодаря разности температур наружного и внутреннего воздуха).

Величина депрессии естественной тяги может быть определена замером (депрессиомером через перемычку, депрессиомером без перемычки, полуэмпирическим методом).

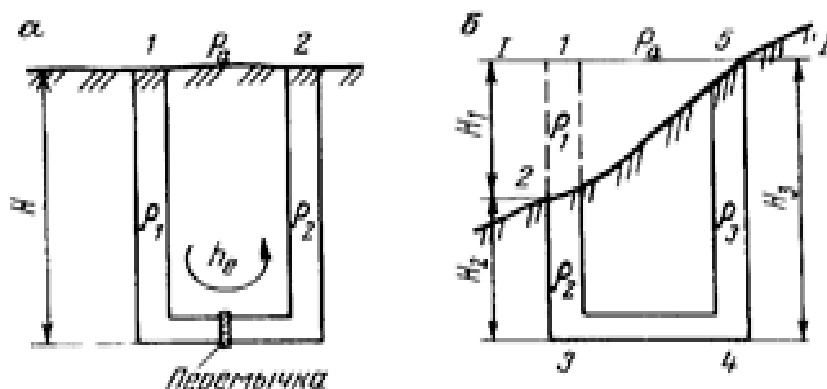


Рис. 23. Схема к определению депрессии естественной тяги в сообщающихся стволах

а – при одинаковых и б – при разных высотных отметках их устьев

Характеристика естественной тяги зависит от времени года. В зависимости от разности давлений (рис. 24) в точках В и D естественная тяга может быть положительной, отрицательной или равной нулю. Например, в зимнее время вес поступающего в ствол АВ воздуха будет тяжелее исходящего из шахты по стволу CD. Следовательно, в зимнее время депрессия естественной тяги $h_e > 0$, что способствует дополнительному притоку воздуха в систему подземных выработок.

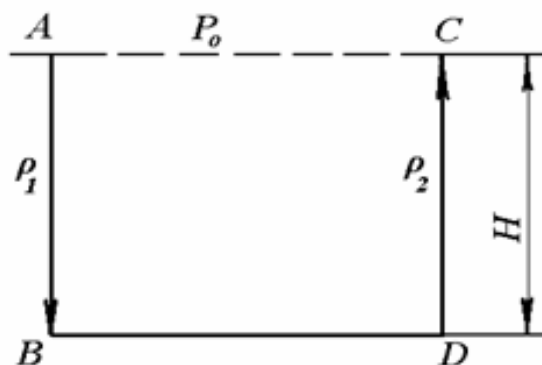


Рис. 24. Схема к определению характеристики естественной тяги в зависимости от времени года

Поскольку температурные условия в воздухоподающих стволах в течение года изменяются незначительно, то летом вес столба воздуха АВ будет меньше аналогичного столба CD, т. е. $h_e < 0$. Поэтому в летнее время естественная тяга оказывает отрицательное влияние на состояние проветривания подземных выработок. Кроме того, следует иметь в виду, что изменение величины и направления действия естественной тяги связаны не только с сезонными колебаниями температуры, а могут иметь место и в течение суток. В этом и заключается существенный недостаток естественной тяги и связанное с ней непостоянство подаваемого воздуха на вентилируемые объекты.

4.2. Шахтные вентиляторы

Вентилятором называется машина, создающая разность давления в воздухопроводе, под влиянием которой воздух перемещается в этом воздухопроводе.

Основное отличие шахтных вентиляторов от вентиляторов, применяемых в других отраслях промышленности – это большая производительность при довольно высоких параметрах по давлению. Производительность может достигать до 500- 600 м³/с; величина разности давления, создаваемая вентилятором от 0,5 до 10 кПа; степень сжатия воздуха вентилятором (отношение давления воздуха на выходе из вентилятора к давлению на входе) равна 1,1.

По своему назначению шахтные вентиляторы условно подразделяются на три группы:

- **вентиляторы главного проветривания (ВГП)** – обслуживают вентиляционную сеть всей шахты или большей ее части;
- **вспомогательные вентиляторы** – обслуживают значительную часть вентиляционной сети шахты или работающие совместно с главным;
- **вентиляторы местного проветривания (ВМП)** – обеспечивают воздухом отдельный забой, выработку или рабочее место (имеют небольшие размеры, малую мощность привода и небольшую производительность).

В соответствии с характером движения воздуха и формы ротора (рабочего колеса) лопастные вентиляторы подразделяются на:

- осевые;
- центробежные (радиальные).

Вентиляторы отличаются, в основном, устройством рабочего колеса, направлением движения воздуха (в середине вентилятора) и видом рабочей характеристики. При работе вентилятора перед ним образуется зона пониженного давления, а за ним – повышенного.

Осевой вентилятор состоит из рабочего колеса 1 (рис. 25) с лопатками 2, вращающегося на оси 3, спрямляющего аппарата 4, обтекателя 5 с хвостовиком 6, кожуха 7 с входным коллектором 8, диффузора 9. Воздух в вентилятор

засасывается через входной коллектор, проходит через рабочее колесо, спрямляющий аппарат и диффузор.

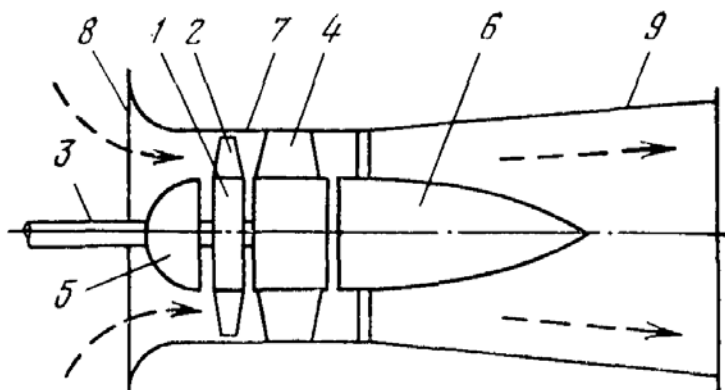


Рис. 25. Схема осевого вентилятора

Рабочее колесо вентилятора представляет собой короткий цилиндр, по цилиндрической поверхности которого расположены лопатки, имеющие обтекаемый профиль, аналогичный профилю крыла самолета.

Коллектор 8 обеспечивает плавный подвод воздуха к вентилятору, а обтекатель 5 снижает удары воздушного потока о лопатки, диффузор 9 преобразовывает динамический напор в статический.

Для раскручивания воздушного потока за рабочим колесом устанавливают спрямляющий аппарат 4, конструктивно представляющий собой неподвижное колесо с лопатками обтекаемой формы.

Для проветривания шахт (рудников) применяются осевые вентиляторы: ВОД-11, ВОД-16, ВОД-21, ВОД-30, ВОД-40, ВОД-50, а также ВОК, ВОКД, ВОКР, В-УП, В-УПД.

В – вентилятор;

О – осевой;

Д – двухступенчатый;

К – с кручёными лопатками;

Р – реверсивный;

УП – с усиленными подшипниками;

УПД – с усиленными подшипниками и удлиненным диффузором.

Депрессия этих вентиляторов изменяется в пределах 1000–4000 Па, дебит – в пределах 10–600 м³/с.

Центробежный вентилятор (рис. 26) 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 располагается направляющий аппарат, который изменяет направление движения воздуха на радиальное.

В рабочем колесе воздух проходит между лопатками, закручиваясь в направлении их движения, и выбрасывается в пространство между верхней кромкой лопаток и кожухом, продолжая двигаться по спирали и расширяясь по мере расширения кожуха. Из вентилятора воздух выходит через нагнетательное отверстие 6.

При вращении рабочего колеса воздушный поток под действием центробежных сил перемещается вдоль лопаток от центра к периферии рабочего колеса, создавая в центре колеса разрежение под действием, которого всасывается поток воздуха.

Разность полных давлений между нагнетательным и всасывающим патрубками создают условия для движения воздуха в подземных выработках.

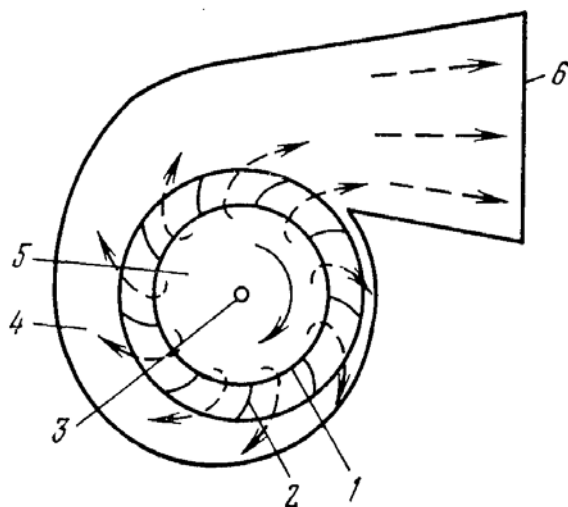


Рис. 26.Схема центробежного вентилятора

Центробежные вентиляторы главного проветривания могут быть одно- и двухстороннего всасывания.

На шахтах применяются вентиляторы:

ВЦ-25, ВЦ-31, ВЦД-31, ВРЦД-4,5, ВЦО, ВЦП и др.

В – вентилятор;

Ц – центробежный;

Д – двухсторонний;

О – односторонний;

Р – рудничный;

П – проходческий.

Цифры означают диаметр рабочего колеса в дециметрах или метрах. Депрессия центробежных вентиляторов изменяется в пределах 600–9 000 Па, их дебит – 10–600 м³/с.

Работу вентилятора характеризуют следующие параметры:

- диаметр рабочего колеса D (м);
- число оборотов рабочего колеса в минуту n (об/мин);
- окружная скорость U (м/с).

Окружная скорость находится по формуле:

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (4)$$

Полная мощность вентилятора (КВТ) определяется по формуле:

$$N = h_B \cdot Q_B / 1000 \cdot \eta \quad (5)$$

где h_B – давление, развиваемое вентилятором, Па;

Q_B – дебит вентилятора, м³/с;

η – КПД вентилятора.

Полезная мощность вентилятора:

$$N_{II} = h \cdot Q \cdot 1000 \quad (6)$$

КПД вентилятора:

$$\eta = \frac{N_{II}}{N} \quad (7)$$

КПД должно быть не менее 0,7.

4.3. Вентиляция производственных помещений

Основной задачей вентиляции производственных помещений является обеспечение благоприятных санитарно-гигиенических параметров воздушной среды, определяемых требованиями ГОСТ 12.1.005 ССБТ.

Вентиляционные системы производственных зданий должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Высокие эксплуатационные характеристики системы (эффективность выполнения своих функций, надёжность, удобство наладки, регулирования, обслуживания и ремонта).

2. Вентиляционные устройства не должны мешать нормальному протеканию производственных процессов.

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

4. Система вентиляции не должна увеличивать пожарную и взрывную опасность, а также не должна способствовать распространению продуктов горения в другие помещения.

5. Звуко- и виброизоляция вентиляционных устройств.

6. Минимальная площадь для размещения вентиляционного оборудования.

7. Экономичность вентиляционных систем.

Под **системой вентиляции производственных помещений** понимается система технических средств, обеспечивающих на рабочих местах благоприятные санитарно-гигиенические условия.

К средствам проветривания относятся побудители тяги (вентиляторы), сеть воздуховодов и регуляторы распределения воздуха в сети.

В зависимости от способа перемещения воздуха различают естественную и искусственную (механическую) вентиляцию.

Естественная вентиляция производственных помещений

Естественная вентиляция может быть неорганизованной (инфильтрация) и организованной (аэрация). При неорганизованной вентиляции воздух поступает в помещение и удаляется из него через неплотности в наружных ограждениях, а также через окна, форточки и другие проёмы.

С инженерной точки зрения, интерес представляет организованный воздухообмен. Он осуществляется при наличии в помещении световых фонарей с открывающимися створками, через которые происходит вытяжка воздуха, и окон в боковых стенках, работающих на приток.

В холодных цехах (не имеющих избыточных тепловыделений) воздухообмен осуществляется под действием ветра, в горячих цехах (с избыточным тепловыделением) – под суммарным действием ветра и разности давлений наружного и внутреннего воздуха.

Воздухообмен считается 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.

Типовые схемы аэрации показаны на рис. 27 и 28.

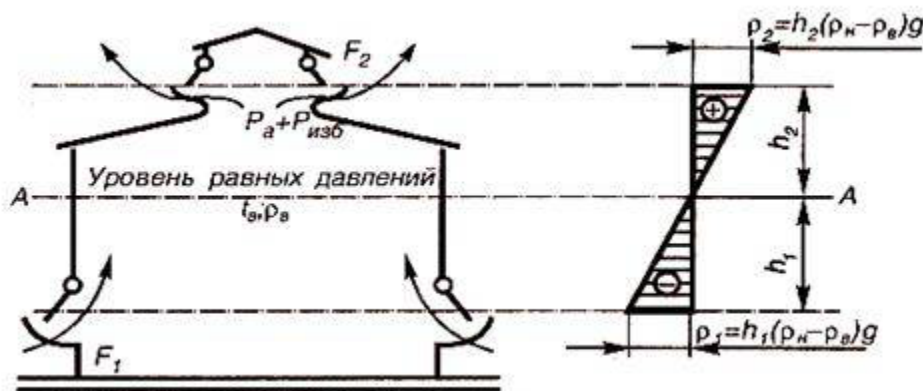


Рис. 27. Схемы аэрации здания

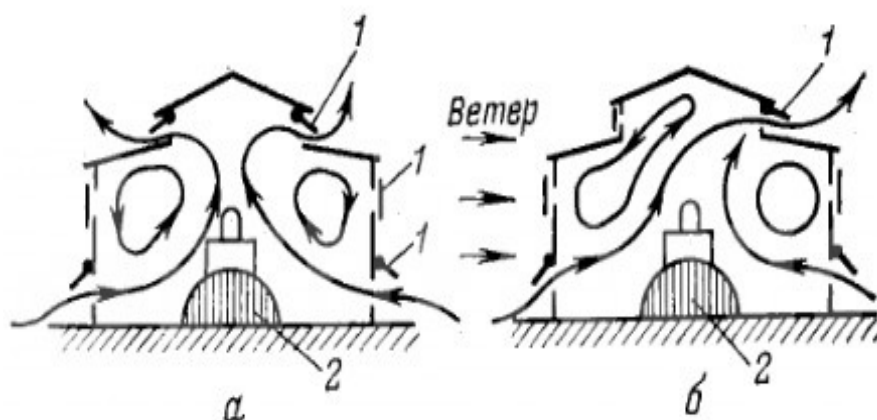


Рис. 28. Схема аэрации промышленного здания в теплое время года:

а – при безветрии; б – при ветре;

1 – приточные и вытяжные проемы; 2 – тепловыделяющий агрегат

Для аэрации обычно делают отверстия в продольных стенах здания: нижний ряд (для притока воздуха в тёплый период) – на уровне не более 1,8 м; верхний ряд (для притока в холодный и переходный период) – на уровне не менее 4 м. На кровле здания устанавливается, как правило, аэрационный фонарь, через который воздух выходит из здания. Естественный воздухообмен возникает под действием теплового напора, ветрового напора или того и другого одновременно.

Искусственная вентиляция

Искусственная вентиляция осуществляется за счёт механического побуждения движения воздуха, в качестве основного источника которого являются вентиляторы.

Преимуществом искусственной вентиляции по сравнению с естественной является возможность подачи постоянного количества воздуха и обеспечение требуемого его распределения по отдельным местам, а также возможность обработки воздуха (подогрев, увлажнение или осушение, очистка от примесей).

По функциональному признаку (в зависимости от направления потока воздуха) искусственная вентиляция подразделяется на вытяжную, приточную и приточно-вытяжную.

При вытяжной вентиляции отработанный воздух удаляется из помещения вентилятором, а свежий воздух поступает в помещение через вентиляционные проёмы за счёт разрежения, создаваемого этим вентилятором.

При приточной вентиляции чистый воздух нагнетается в помещение вентилятором, вследствие чего в помещении создаётся повышенное давление, под воздействием которого отработанный воздух через различные неплотности и вентиляционные проёмы выходит наружу.

Приточно-вытяжная вентиляция применяется для организованного (регулируемого) притока и удаления воздуха из помещения. При этом количество поступающего и удаляемого воздуха должно быть одинаково.

В зависимости от способа организации воздухообмена различают общеобменную (общую), местную и смешанную (комбинированную) вентиляцию.

При общеобменной вентиляции происходит обмен воздуха во всём помещении. Она применяется в тех случаях, когда требуется разжижение вредностей во всём объёме до допустимых пределов. Схема устройства общеобменной приточно-вытяжной вентиляции представлена на рис. 29.

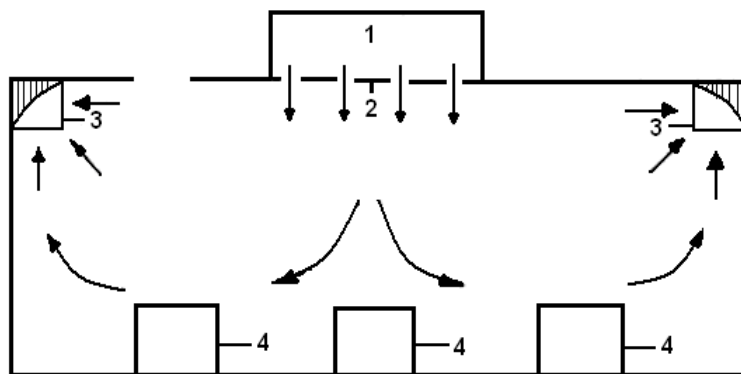


Рис. 29. Аэродинамическая схема устройства общеобменной вентиляции:

1 – канал приточной вентиляции; 2 – перфорированный потолок; 3 – каналы вытяжной вентиляции; 4 – технологическое оборудование

Устройства притока и вытяжки должны размещаться так, чтобы воздух удалялся из мест наибольшей концентрации вредностей.

В систему приточной вентиляции входят воздухоприёмное устройство для наружного воздуха с клапаном, фильтр для очистки воздуха от пыли, воздухонагреватель (калорифер), вентилятор, сеть воздухопроводов и устройства выпуска воздуха в рабочее помещение.

Вытяжные системы вентиляции включают в себя местные отсосы, воздуховоды, фильтры для очистки воздуха от пыли, вентилятор, вытяжную шахту с утеплённым клапаном для отключения системы от наружного воздуха.

В производственных помещениях должны быть предусмотрены площади для размещения вентиляционного оборудования. Вентиляционные установки можно располагать на высоте 3–4 м от пола. Местная вентиляция может быть вытяжная, приточная и приточно-вытяжная (рис. 30–32).

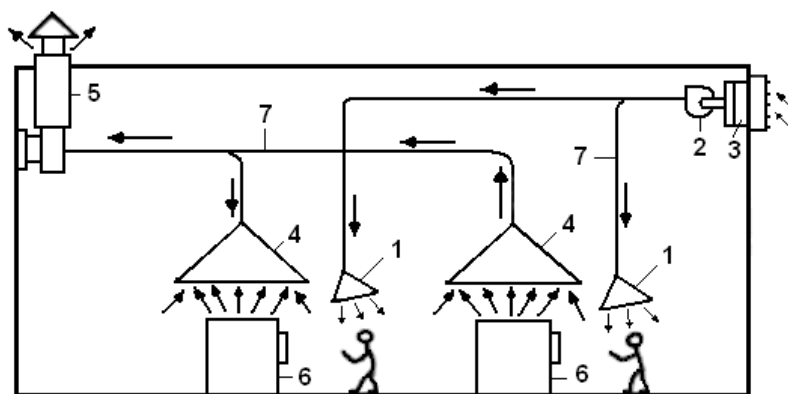


Рис.30.Аэродинамическая схема местной приточно-вытяжной вентиляции:
 1 – приточные насадки; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – вытяжные зонты;
 5 – агрегат вытяжной вентиляции; 6 – оборудование, выделяющее вредности;
 7 – воздуховоды

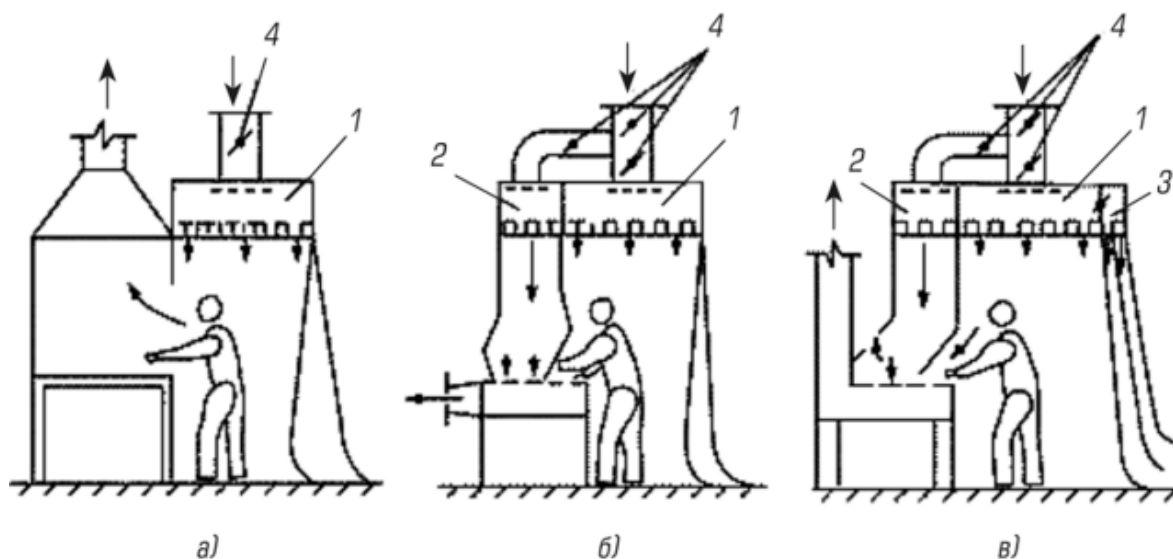


Рис.31.Аэродинамические схемы местной приточно-вытяжной вентиляции:
 а – без завес с вытяжным шкафом; б – с фронтальной завесой и отсосом через перфорированную столешницу стола; в – с фронтальной и боковыми завесами, боковым отсосом и отсосом через перфорированную столешницу стола.
 1 – основная воздухораспределительная панель; 2 – воздухораспределительная панель с фронтальной завесой; 3 – воздухораспределители боковых завес;
 4 – регулирующие заслонки

Местная вытяжная вентиляция предназначена для улавливания вредностей в отдельных источниках образования во избежание их распространения по всему помещению. При этом на отдельных рабочих местах создаются условия воздушной среды, отличные от среды всего помещения. В местной приточной вентиляции приточный воздух подаётся непосредственно к рабочему месту.

Местная вентиляция устраивается обычно в производственных помещениях, в которых главные источники выделения вредных веществ сосредоточены у производственного оборудования.

Система, в которой сочетаются элементы общеобменной и местной вентиляции, называется комбинированной (смешанной) системой вентиляции (рис. 24).

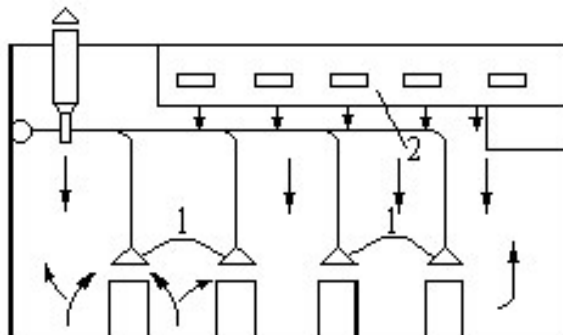


Рис.32.Схема смешанной вентиляции:

- 1 – общая приточная вентиляция; 2 – местная вытяжная вентиляция;
3 – ответвление для осуществления общей вытяжки из помещения

При местной вентиляции используются воздушные души, местные отсосы, воздушные завесы. Воздушные души представляют собой направленные на человека (рабочее место) потоки воздуха, которые создают на рабочем месте более благоприятные условия, чем в остальной части помещения.

Различают воздушные души, подающие: наружный охлажденный или подогретый воздух; наружный воздух без обработки; внутренний воздух с охлаждением; внутренний воздух без обработки.

Воздушные души устраиваются у загрузочных и разгрузочных отверстий печей металлургических заводов, в литейных и кузнечных цехах машиностроительных заводов; на рабочих местах, на которые поступают вредные газы и пыль.

Местные отсосы являются эффективными при локализации местных (сосредоточенных) источников вредных веществ. При местном отсосе у места забора вредных веществ создается разрежение, обеспечивающее приток воздуха к месту всоса, что предотвращает распространение вредных веществ в помещении.

Местные отсосы осуществляются с помощью вытяжных шкафов, открытых зонтов или закрытых кожухов. Вытяжные шкафы могут быть с верхним, нижним или комбинированным

отсосом. Вытяжные зонты применяются в тех случаях, когда вредность легче окружающего воздуха.

В зависимости от конкретных условий применяются вытяжные зонты: простые, с вертикальным бортом, активные зонты со щелями по периметру, зонты с поддувом.

Воздушные завесы устраиваются для защиты помещения от проникновения холодного наружного воздуха. Для этого внизу проема или по его периметру устраиваются щели, через которые в проем подается струя воздуха, нагретого до 50 °С со скоростью до 25 м/с.

5. АЭРОЛОГИЯ КАРЬЕРОВ

5.1. Источники загрязнения атмосферы карьеров

Источники загрязнения атмосферы карьеров разделяются на внешние и внутренние.

Внешние источники располагаются за пределами внешнего контура карьера. К ним относятся: дробилки, обогатительные и агломерационные фабрики, металлургические заводы, вентиляционные стволы шахт, отвалы пустых пород, котельные, автомобильные дороги и др. От внешних источников под действием ветра вредные газы и пыль распространяются в пространство карьера, ухудшая общее состояние атмосферы.

Внутренние источники располагаются в пределах контура карьера и вызывают как местное, так и общее ухудшение атмосферы. К внутренним источникам относятся: буровые станки, выемочно-погрузочные машины, взрывные работы,

машины с ДВС, автомобильные дороги, газовыделение из пород, пожары.

Основным средством оздоровления атмосферы карьеров является вентиляция.

5.2. Естественная вентиляция карьеров

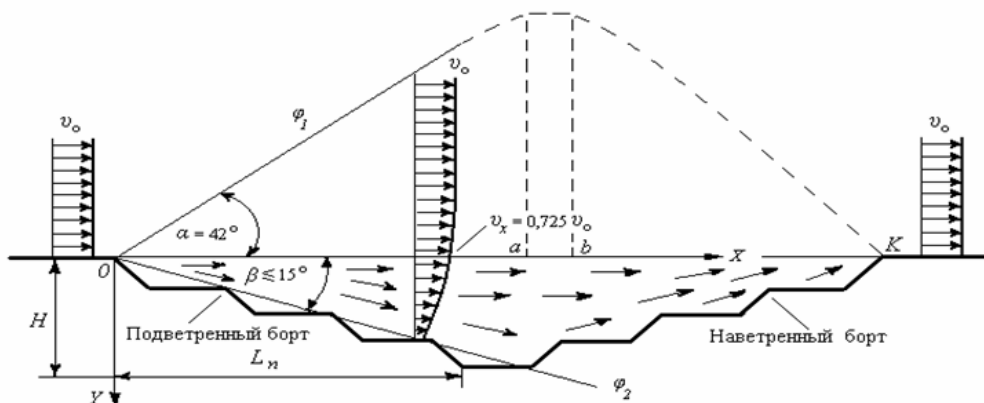
Естественная вентиляция карьеров осуществляется под действием естественных причин – энергии ветра (ветровой напор) и энергии термических сил.

Энергия ветра является основным фактором, обеспечивающим естественное движение воздуха в карьере. Однако, как показывает практика, эффективное проветривание карьеров за счёт энергии ветра возможно только до глубины 200 м.

Различают две схемы естественного проветривания карьера за счёт энергии ветра – **прямоточную** и **рециркуляционную**.

Структуры воздушных потоков при прямоточной и рециркуляционной схеме движения воздуха в карьере показаны на рис. 33.

а)



б)

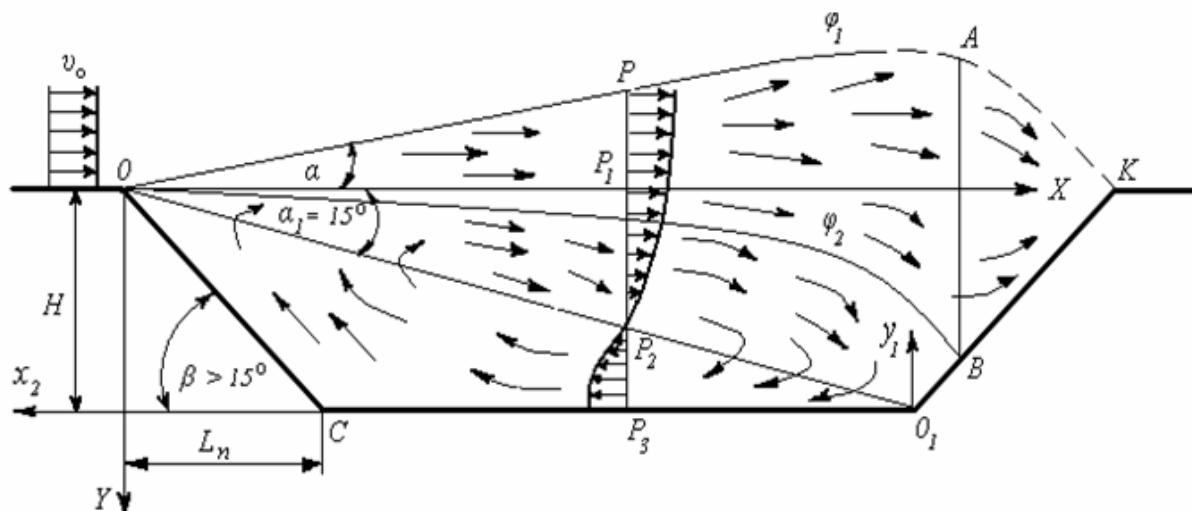


Рис.33.Схема проветривания карьера энергией ветра:
а – прямоточная; б – рециркуляционная.

Прямоточная схема движения воздушных потоков характерна для начальной стадии разработки месторождений открытым способом. Образуется при скорости ветра на поверхности $v_0 > 0,1 \dots 1$ м/с. Угол откоса борта карьера при прямоточной схеме проветривания равен или меньше внешнего угла раскрытия свободной струи, т.е. $\beta \leq 15^\circ$.

При прямоточной схеме проветривания ветровой поток на поверхности, движущийся со скоростью v_0 , в точке О у верхней кромки подветренного борта (рис. 33, а) изменяет своё направление, начинает расширяться в сторону карьера и омывает подветренный борт.

Малые скорости движения воздуха на границе свободного потока создают в приземном слое слабое перемещение примесей. Наличие на подошве карьера горизонтальных участков приводит к перестройке поля скоростей в соответствии с шероховатостью подстилающей поверхности. Встретив наветренный борт карьера, поток воздуха активно его омывает за счёт приращения скорости в результате поджатия струи.

Вследствие небольшого угла откоса подветренного борта ($\beta \leq 15^\circ$) срыва струи с твердой поверхности в точке О не происходит и в карьере формируется ограниченный поток воздуха, границами которого являются борта и дно карьера. Граница зоны постоянных скоростей над карьером φ_1 , выше которой скорость воздуха равна скорости его v_0 на поверхности вдали от карьера, составляет с плоскостью горизонта угол $\alpha = 42^\circ$. Между бортами, дном и границей зоны постоянных скоростей φ_1 скорость движения воздуха изменяется от нуля на твёрдых поверхностях до v_0 на границе φ_1 .

Прямоточная схема проветривания является наиболее эффективной по выносу вредных примесей из карьерного пространства. Повышенное содержание вредных примесей в карьере при данной схеме наблюдается лишь вблизи источников пылегазовыделения. Условия выноса вредностей тем лучше,

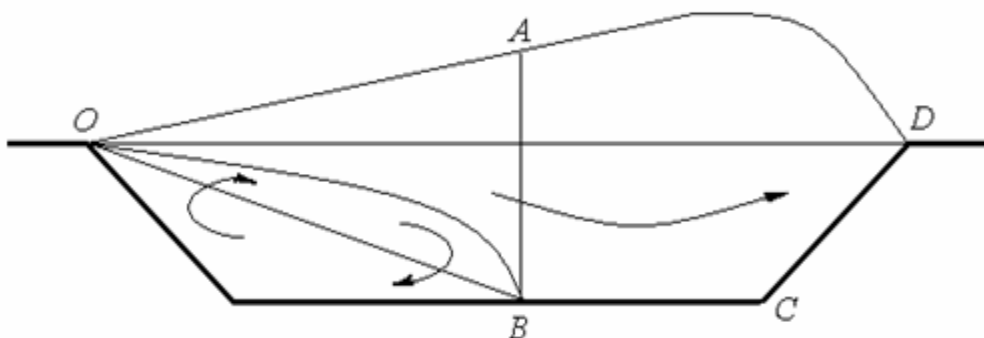
чем меньше угол откоса бортов карьера, поскольку с его увеличением возрастает степень расширения воздушного потока, что приводит к уменьшению скорости

движения воздуха. При данной схеме подветренный борт проветривается практически чистым воздухом, поступающим с поверхности, а наветренный – воздухом, прошедшим через карьерное пространство и содержащим определённое количество вредных примесей.

Рециркуляционная схема движения воздушных потоков получает развитие при скорости ветра на поверхности более $0,8...1$ м/с и углах откоса подветренного борта карьера $\beta > 15^\circ$. Схема считается рециркуляционной, если нижняя часть карьера (по подошве) полностью находится в зоне движения обратных воздушных потоков. На рис. 33, б показана рециркуляционная схема проветривания карьера.

По данной схеме часть карьера с границами $\phi 1$ и $\phi 2$ проветривается плоско-параллельной струёй первого рода. Выше границы $\phi 1$ скорость воздуха равна скорости ветра на поверхности u_0 . Свободная струя при достижении в точке В наветренного борта разделяется на две части. Верхняя её часть, двигаясь вдоль уступов вверх, выходит на поверхность. Нижняя – поворачивает вниз и движется в противоположном первоначальному направлению, образуя свободную струю второго рода. Между этими двумя зонами имеются участки движения воздуха в самых различных направлениях. Из зоны обратного потока воздух, поворачивая вверх, вновь поступает в зону спутного потока. Этот поворот начинается левее сечения РРЗ, находящегося на расстоянии $x = 0,6x_0$ от точки О. Таким образом, в зоне ОР1ВО1СО происходит многократная циркуляция одних и тех же объёмов воздуха, что и приводит к образованию рециркуляционной схемы проветривания.

На практике, в зависимости от реальной геометрии карьеров, возможны случаи, когда одна часть карьера проветривается по прямоточной схеме, другая – по рециркуляционной схеме, т. е. имеют место комбинированные схемы проветривания. Например, при больших размерах карьера в направлении ветра возможна рециркуляционно-прямоточная схема проветривания (рис. 34, а). При переменном угле подветренного борта карьера возможна прямоточно-рециркуляционная схема проветривания (рис. 34, б).



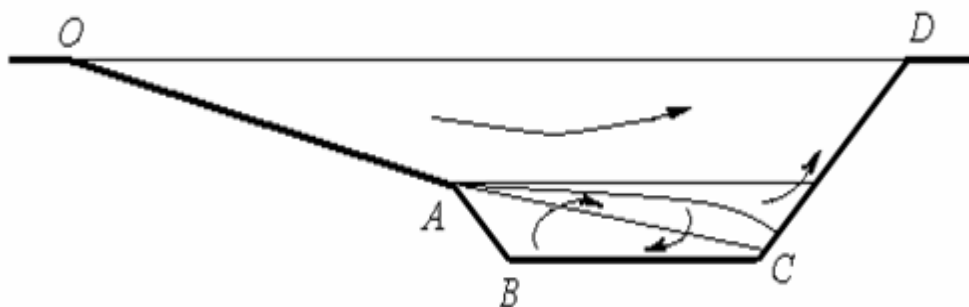


Рис.34. Комбинированные схемы естественного проветривания карьера энергией ветра:

а – рециркуляционно-прямоточная; б – прямоточно-рециркуляционная

Рециркуляционно-прямоточная схема движения воздуха является промежуточной между прямоточной и рециркуляционной для определённого этапа разработки месторождения. Например, при больших размерах карьеров в направлении ветра (рис. 34, а) нижняя граница струи первого рода пересекает дно карьера в некоторой точке В, правее которой (участок BCD) карьер проветривается по прямоточной схеме. Участок левее сечения АВ проветривается порециркуляционной схеме.

Профиль ветра на прямоточном участке по мере приближения к наветренному борту становится более равномерным. Наиболее неблагоприятное распределение скоростей наблюдается в нижней части карьера, омываемого обратными потоками. Значения скорости движения воздушного потока для этой зоны в среднем не превышают 0,3 скорости ветра на поверхности.

Прямоточно-рециркуляционная схема движения воздуха. Часть карьера, примыкающая к верхней, более пологой части подветренного борта АО, проветривается по прямоточной, а остальная часть карьера (ABCD) – рециркуляционной схеме. Ослабление воздушных потоков в прямоточной струе на уровне кромки участка, с которого начинается развитие рециркуляционной схемы (точка А), обуславливает значительное уменьшение скоростей движения воздуха в нижней части карьера, затрудняя воздухообмен и вынос примесей.

Рассматриваемая схема проветривания может быть результатом определённой формы рудного тела, или возможна при разработке месторождений, верхняя часть которых представлена толщей осадочных пород, а нижняя – скальными породами.

Вынос вредностей из карьера при рециркуляционной схеме проветривания осуществляется ядром постоянной массы. Поступление вредностей в ядро происходит в его начальном участке из зоны P2OP1 струи первого рода (рис. 33, б). Ниже границы OP1В ядра постоянной массы поступившие в воздух примеси находятся в циркуляционном движении. При установившейся интенсивности выделения вредностей их количество, поступающее в

атмосферу карьера, равно количеству, выносимому из карьера ядром постоянной массы.

Особенностью проветривания карьера по рециркуляционной схеме является то, что значительная часть рабочих поверхностей (подветренный борт, дно и часть наветренного борта) находятся в зоне рециркуляционных потоков.

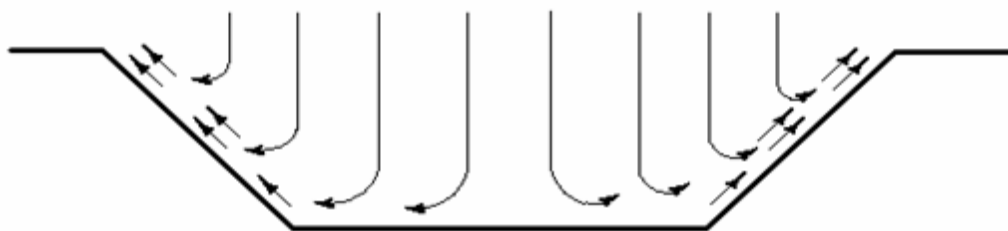
При действии внешних источников загрязнений в эту зону будет поступать только часть от их общего количества, поступающего в свободную струю первого рода, т. е. та часть, которая находится в зоне присоединённых масс между линиями ОР1В и ОР2О1.

При действии внутренних источников загрязнений, расположенных на поверхностях ОСРЗО1В, все выделяемые ими вредности будут поступать в зону рециркуляции. Примеси в этой зоне накапливаются до тех пор, пока их количество, выносимое в единицу времени из зоны рециркуляции в ядро постоянной массы, не станет равно общему количеству выделяющихся в единицу времени примесей на участке ОСРЗО1В.

Таким образом, рециркуляция воздуха в зоне ОВО1СО (рис. 33, б) приводит к накоплению в ней выделяющихся в карьере вредностей, поэтому в этой зоне концентрация вредностей значительно выше, чем в ядре постоянной массы. Поскольку зона рециркуляционного пространства составляет основную часть рабочего пространства, оценивая чистоту атмосферы карьера, прежде всего, следует оценивать загрязнённость атмосферы в зоне рециркуляции.

Движение воздуха в карьере под действием **термических** сил формируется при отсутствии ветра или малой его скорости. При этом возможны две схемы проветривания – **конвективная** и **инверсионная** (рис. 35).

а)



б)

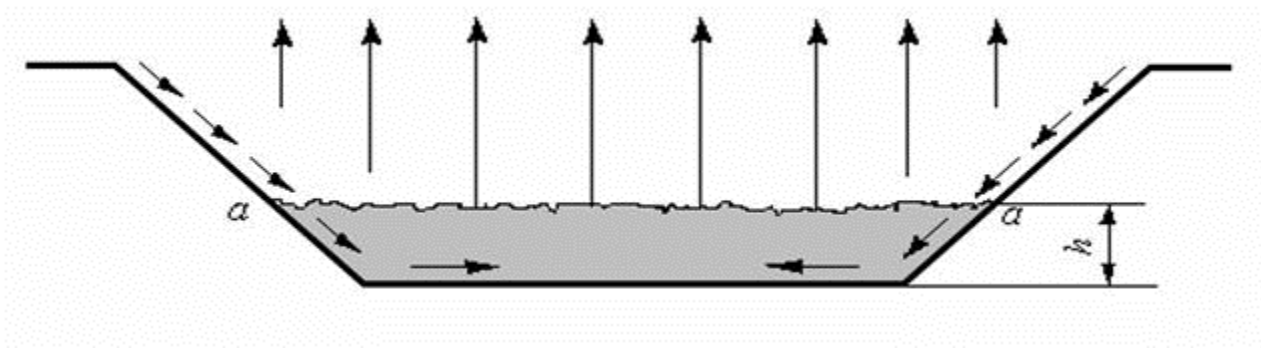


Рис.35.Схемы проветривания карьера энергией термических сил:
а – конвективная; б – инверсионная

Конвективная схема проветривания. Конвективная схема проветривания карьера формируется термическими силами при скорости ветрового потока на поверхности не более 0,7...0,8 м/с. Прогретые борта карьеров нагревают находящийся над ними воздух, который перемещается вверх, а на его место опускаются холодные массы воздуха. На рисунке 27, а показана конвективная схема проветривания карьера.

При возникновении конвективной схемы проветривания массы тёплого воздуха поднимаются вверх не вертикально, а движутся вдоль уступов, что приводит к увеличению объёма поднимающегося из карьера воздуха. Наиболее мощные конвективные потоки наблюдаются у верхних уступов карьера.

Горизонтальная составляющая скорости конвективного потока с учётом вертикального температурного градиента определяется по формуле:

$$\vartheta = 0,55 \cdot k_1 \sqrt{g \cdot \sin \beta (H - h) \frac{t_n - t_g}{t_g - 0,01 \cdot \Delta t \cdot H}} \quad (8)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий замедление движения потока вследствие влияния уступов ($k_1 = 0,11$ при высоте уступов 10...12 м и углах откоса борта карьера 20...30°);

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – глубина карьера, м;

h – глубина расположения точки, в которой определяется скорость, м/с;

t_n и t_g – соответственно температура поверхности и воздуха на глубине h , °С;

β – угол откоса борта карьера, град;

Δt – фактический градиент температуры, °С/100, град/м.

Аэродинамический режим движения воздуха в карьере неустойчивый. При небольших скоростях движения воздушного потока

наблюдается ламинарный режим, при более высоких скоростях может появляться незначительная турбулентность.

Вынос вредностей из карьера осуществляется восходящими воздушными потоками, движущимися вдоль бортов. Количество вредностей в потоке возрастает по мере приближения его к поверхности за счёт притока загрязнений, выделяемых при ведении горных работ на верхних уступах. Основное влияние на загрязнение атмосферы карьеров при конвективной схеме проветривания оказывают внутренние источники выделения вредностей (буровзрывные работы, работа экскаваторов, автомобильный транспорт и др.). Внешние источники существенного влияния на загрязнение атмосферы карьера не оказывают.

Инверсионная схема движения воздуха. Инверсионная схема проветривания образуется за счёт радиационного охлаждения поверхности откосов бортов карьера при скорости движения ветра на поверхности не более 0,7...0,8 м/с. Наиболее сильно под влиянием излучения охлаждаются обнажённые поверхности горных пород. Причём в условиях карьеров из-за довольно значительных углов наклона бортов и более позднего восхода Солнца для нижней части карьера ночная радиационная инверсия может сохраняться и в утренние часы. Радиационная инверсия в зимнее время года вследствие наличия снежного покрова, малой продолжительности светового дня, низкого положения Солнца наблюдается и в дневное время. На рисунке 35, б показана схема движения потоков воздуха при радиационной инверсии.

Прилегающие к бортам слои воздуха охлаждаются и как более тяжёлые начинают поступать вниз, на дно карьера, проникая под ранее находившиеся на дне слои более тёплого воздуха, и вытесняют их вверх. По мере развития инверсии высота слоя холодного воздуха h в нижней части карьера увеличивается. При глубоких инверсиях весь карьер может быть заполнен массами холодного воздуха.

Слой холодного воздуха высотой h , заполняющий карьер при инверсии, называется слоем инверсии, её верхний уровень a – a (рис. 35, б) принято называть уровнем инверсии.

При инверсионной схеме движения воздуха в карьере максимальные скорости воздуха у поверхности бортов не превышают 1 м/с, а под уровнем инверсии воздух практически находится в неподвижном состоянии.

Режим движения воздуха при инверсионной схеме проветривания ламинарный или близкий к нему, что затрудняет воздухообмен в карьере. Отсутствие активного воздухообмена между слоем инверсии и вышележащими слоями атмосферного воздуха препятствует выносу вредностей из карьера. Поступающие вниз массы холодного воздуха увлекают за собой вредности как от внешних источников, так и образующиеся на верхних уступах карьера, что способствует их накоплению не только под уровнем инверсии, но и выше. В результате под уровнем инверсии создаются неблагоприятные санитарно-гигиенические условия, где концентрация газа и пыли может превышать допустимые пределы. Пребывание людей в таких местах становится опасным ввиду возможных острых отравлений ядовитыми газами.

При больших скоплениях газа и пыли в слое инверсии возможно образование туманной дымки. В этих условиях резко ухудшается видимость в карьере, что нарушает безопасность ведения работ. При глубоких инверсиях работы в карьере приостанавливаются, а люди выводятся на поверхность.

Кроме рассмотренных схем проветривания карьеров энергией термических сил возможны различные их комбинации, так в глубоких карьерах возможна комбинация ветровой и термической схем проветривания. Наблюдения показывают, что даже при достаточно сильном ветре на поверхности ветровой поток проникает в карьер на глубину не более 150...200 м. Ниже этого уровня энергия ветрового потока настолько уменьшается, что не оказывает определяющего влияния на формирование воздушных потоков, которые образуются под действием термических сил. В глубокой части карьера движение воздуха может быть конвективным или инверсионным. При прямоточно-конвективной схеме движения воздуха в карьере верхняя часть проветривается энергией ветра, а нижняя – конвективными термическими силами. Вредности с конвективными потоками поступают в зону действия прямоточной ветровой струи и выносятся за пределы карьера.

Возможны и другие комбинированные схемы естественного проветривания карьеров. Например, если один из бортов карьера охлаждён, а другой нагрет, то возможна конвективно-инверсионная схема движения воздуха (рис. 36). Фактически совместное действие ветра и термических сил наиболее часто встречается при естественном проветривании карьеров.



Рис.36. Комбинированная (конвективно-инверсионная) схема проветривания карьера энергией термических сил

5.3. Искусственная вентиляция карьеров

Искусственная вентиляция карьера необходима в случаях, когда интенсивность воздухообмена в карьере оказывается недостаточной для поддержания нормального санитарно-гигиенического состояния атмосферы в местах ведения работ. Практика показывает, что существенное влияние на степень загрязнения воздуха в карьерах при инверсиях оказывают её продолжительность, интенсивность и условия выделения примесей.

Движение воздуха в карьере, направленное на разбавление и удаление примесей, может быть активизировано с помощью механических, тепловых и комбинированных средств. При этом выбранные средства должны обеспечивать:

- разбавление и удаление вредных примесей на отдельных участках с интенсивными выделениями;
- проветривание отдельных зон с затруднённой циркуляцией;
- проветривание карьерного пространства в целом;
- предупреждение и ликвидацию инверсий, являющихся основной причиной нарушения воздухообмена и накопления вредных примесей.

Все существующие способы искусственной вентиляции карьеров делятся на два класса:

- способы интенсификации естественного воздухообмена;
- способы собственно искусственной вентиляции.

К способам интенсификации естественного воздухообмена 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, повышающих скорость ветра и турбулизирующих ветровой поток;
- изменение окраски обнажений горных пород на поверхностях карьера;
- аккумуляция тепла в специальных ёмкостях;
- использование глубинного тепла горных пород.

Для интенсификации воздухообмена в карьере следует его длинную ось в плане ориентировать по направлению господствующего ветра.

На воздухообмен в карьере влияют его геометрические размеры. Интенсивность воздухообмена определяется отношением глубины карьера H к его длине в направлении действия ветра L . Чем меньше это отношение, тем более плоским и легко проветриваемым является карьер. При $H/L \leq 0,1$ карьеры относятся к мелким, при $0,1 < H/L < 0,2$ – средней глубины, при $H/L \geq 0,2$ – глубоким. При $H/L \geq 0,3$ все нижние горизонты карьера находятся в зоне рециркуляции.

Уменьшение угла откоса и скругление верхней части борта способствует уменьшению рециркуляции.

Для повышения скорости и турбулизации ветрового потока на поверхности перед карьером с наветренной стороны возводят отвалы (или здания) или устанавливают специальные воздухонаправляющие щиты на верхней бровке борта.

Изменение окраски поверхностей карьера достигается путём нанесения слоя асфальта, битума и т. п. При этом дополнительное прогревание воздуха происходит за счёт повышения поглощающей способности темных покрытий и аккумуляцией в них дополнительного количества тепла.

Аккумуляция тепла в специальных резервуарах (металлические баки сводой) используется для уменьшения опасности появления ночных инверсий. При этом вода, прогреваемая днём, отдаёт тепло воздуху в ночное время.

Для использования глубинного тепла горных пород на некотором расстоянии от поверхности проводятся подземные выработки, по которым пропускается атмосферный воздух. При контакте со стенками выработок воздух нагревается и при поступлении в карьер интенсифицирует его проветривание.

Следует отметить, что эффективность рассмотренных выше способов интенсификации естественного воздухообмена в карьерах невелика.

К собственно искусственной вентиляции относятся:

- вентиляция с помощью труб и выработок;
- вентиляция свободными струями, создаваемыми специальными вентиляционными установками (изотермические и неизотермические струи);
- вентиляция свободными струями, создаваемыми источниками тепла (конвективными струями).

Изотермическими называются свободные струи, температура которых равна температуре окружающего воздуха. Неизотермическими называются свободные воздушные струи, температура которых отличается от температуры окружающего воздуха.

Конвективными называются струи, создаваемые свободно поднимающимися массами нагретого воздуха.

При искусственном проветривании вентиляционные установки эффективны при условии их расположения в зоне чистого воздуха. Если содержание примесей в подаваемом установкой воздухе равно или превышает предельно допустимые концентрации, применять искусственную вентиляцию карьеров, используя такой воздух, нецелесообразно.

Отсюда вытекают следующие **требования к искусственному проветриванию карьеров:**

- вентиляционные установки не должны размещаться на горизонтах с загрязнённым воздухом;
- нерационально использовать вентиляционные установки, расположенные на дне карьера и создающие вертикальные или направленные наклонно вверх струи. При таком способе проветривания выброс загрязнённого воздуха за пределы карьера сохраняет инверсию, снижая её высоту по мере поступления чистого воздуха. Однако концентрация примесей в процессе проветривания загрязнённой зоны не уменьшается до удаления практически всего объёма. Более того, в самой нижней зоне, прилегающей к подошве карьера, сохраняются повышенные концентрации вредных примесей;
- нецелесообразно применять схемы с каскадным расположением вентиляционных установок, поскольку каждая последующая установка будет находиться в загрязнённой зоне, что не обеспечит требуемую эффективность проветривания;

- предпочтительно использовать минимальное число вентиляционных установок, располагаемых на борту карьера или промежуточном горизонте в зонах с незагрязнённым воздухом и создающих наклонные нисходящие струитребуемой производительности и дальностью.

При верхнем расположении средств проветривания вентиляция загрязнённой зоны осуществляется активной струёй большого диаметра, определяемого по зависимости:

$$D = 6,8 \cdot a \cdot L + D_0 \quad (9)$$

где a – коэффициент турбулентной структуры свободной струи;

L – расстояние от места установки вентилятора до зоны загрязнения, м;

D_0 – начальный диаметр свободной струи, м.

По мере поступления воздуха с поверхности обеспечивается активное разбавление и перенос примесей в рабочей зоне и формируются условия, способствующие разрушению инверсии.

Расположение вентиляционных средств в нижней зоне определяет активное их действие на приземный слой в пределах действия спектра всасывания, величина которого не превышает 5 или 6 D_0 .

Таким образом, при нижней установке вентиляторов подсос воздуха осуществляется из весьма ограниченной зоны, что определяет плохое разбавление и перемешивание примесей в приземном слое у подошвы карьера.

Для обеспечения эффективной вентиляции карьерного пространства следует рекомендовать комбинированную схему, сущность которой заключается в следующем. При нижнем размещении главных вентиляционных установок одновременно в непосредственной близости от рабочей зоны располагаются вентиляторы, работающие сверху вниз и обеспечивающие вымывание примесей из части атмосферы, примыкающей к рабочему пространству.

Местное проветривание предусматривается для интенсификации воздухообмена на рабочих участках, расположенных в непосредственной близости от источников выделения вредных примесей. Назначение местной вентиляции – перемещение загрязнений в определённом направлении и рассеивание примесей в воздухе карьера. Вентиляционные установки располагаются на верхних уступах тех же площадок, что и источники выделения примесей. Обязательным условием, обеспечивающим рассеивание примесей, является подача в проветриваемую зону чистого воздуха.

В процессе местного проветривания можно одновременно производить обеспыливание воздуха за счёт подачи вентиляционной струёй диспергированной воды, пара или снега.

В качестве средств местного проветривания могут использоваться передвижные и стационарные вентиляционные установки, создающие свободную струю и обеспечивающие доставку воздуха в проветриваемую зону.

На отдельных рабочих местах возможно использование для доставки чистого и удаления загрязнённого воздуха специальных подземных выработок или воздухопроводов.

Вентиляционные установки, использование которых предусматривается при организации местного и общего проветривания карьеров, должны отвечать следующим требованиям:

- надёжно проветривать зоны с повышенной концентрацией ядовитых паров, газов и пыли;
- обеспечивать подачу вентиляционной струи на необходимое расстояние с максимально возможным расходом воздуха в струе;
- возможность раскрытия струи в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- обеспечивать удобство, простоту управления и эксплуатации;
- возможность многократного использования (время работы не менее 1000 ч) в температурном интервале от -35°C до $+40^{\circ}\text{C}$;
- запас расходных материалов должен обеспечить не менее двух часов непрерывной работы установки;
- установка должна быть мобильной и по возможности автономной;
- использовать в качестве транспортных средств для передвижения установки шасси автомашин, автоприцепы или железнодорожные платформы;
- пульт управления должен находиться в специальной кабине, защищающей оператора от шума, теплового и ветрового воздействия работающей установки;
- установка должна отвечать общим и специальным требованиям правил безопасности и противопожарной техники.

5.4. Интенсификация проветривания карьеров

Интенсификация естественного воздухообмена в карьерах необходима, особенно при разработках на большой глубине. Тем не менее, существующие способы интенсификации воздухообмена весьма ограничены, а эффективность их небольшая. Необходимым условием их применения является наличие достаточно интенсивного движения воздуха на поверхности, при этом положительный эффект достигается при небольших глубинах карьеров. Поэтому применяемые в настоящее время способы интенсификации воздухообмена в карьерах являются вспомогательными средствами их искусственной вентиляции.

Интенсифицировать воздухообмен в карьере можно ориентацией его длинной оси в плане по направлению господствующего ветра (если это позволяет расположение залежи полезного ископаемого). Очевидно, что этот способ интенсификации воздухообмена приемлем лишь для вытянутых в плане карьеров. Возможности его применения бывают ограничены ориентацией и размерами залежи в плане и рельефом местности.

Выбор размера карьера может способствовать улучшению воздухообмена в его атмосфере. Большое влияние на проветривание оказывает глубина карьера. Чем она больше, тем меньше скорость воздуха и, следовательно, хуже воздухообмен в карьере. При прочих равных условиях, чем меньше отношение глубины к длине, тем карьер будет более «плоским» и лучше проветриваться.

Существенное влияние на воздухообмен оказывает уменьшение угла откоса бортов карьера. Также применяется придание профилю верхней части борта карьера скругленной формы. При этом отрыв ветрового потока от твердой поверхности происходит в некоторой точке на борту карьера ниже уровня поверхности. Это вызывает увеличение угла раскрытия свободной струи с 15° при линейном профиле борта карьера до $30-45^\circ$ при скругленном, что приводит к уменьшению объема зоны рециркуляции.

Вентиляция карьеров может быть улучшена при возведении на его поверхности сооружений типа отвалов, направляющих и турбулизирующих воздушный поток. Для этих же целей можно использовать и расположенные у карьеров здания. Подобные сооружения, называемые воздухозаборами (рис. 37), позволяют увеличить скорость ветрового потока над карьером на 10-20 %. Хорошие результаты получаются при большем расстоянии l между отвалами, которое не должно превышать ширину карьера. Оптимальный угол α между сооружениями равен примерно 70° .

Отвалы и здания, расположенные перед карьером с наветренной стороны, повышают турбулизацию воздуха, что увеличивает угол раскрытия поступающего в карьер ветрового потока. При этом уменьшается объем рециркуляционной зоны и улучшается проветривание карьера. Расстояние таких отвалов от карьеров должно быть не менее десяти их высот.

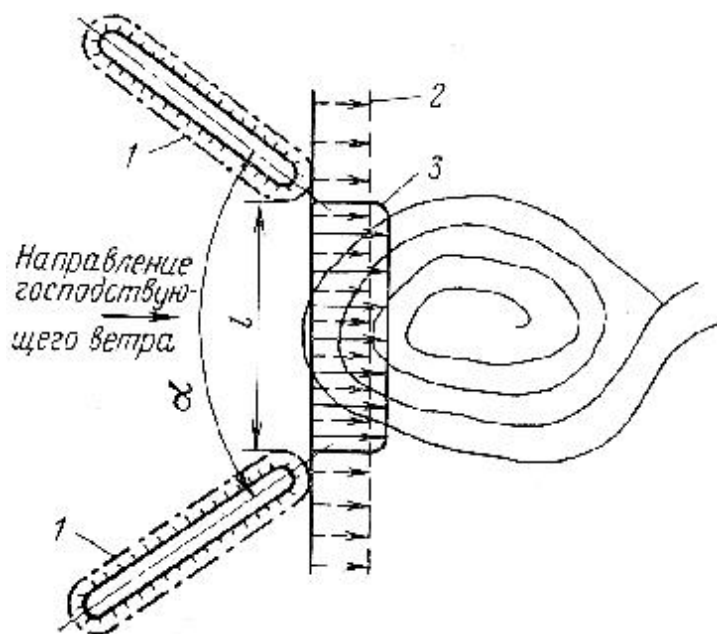


Рис. 37. Схема воздухозабора:

1 — отвалы; 2 и 3 — эпюры скорости ветрового потока над карьером соответственно при отсутствии и наличии воздухозабора

Следует иметь в виду, что отвалы и здания, расположенные вблизи карьера и неправильно ориентированные относительно господствующих ветров, ухудшают проветривание.

Интенсификация проветривания карьера может быть достигнута также ориентацией траншей и съездов по направлению господствующих ветров. При совпадении с направлением ветра оси траншеи, последняя способствует поступлению воздуха с поверхности в карьер, являясь своего рода воздухопроводящим каналом.

Нанесение слоев асфальта, шлака, битума на обнажения горных пород изменяет их окраску и увеличивает разность температур между почвой и воздухом в дневное время (периоды интенсивной солнечной радиации) в 2-4 раза по сравнению с необработанной поверхностью. При этом в осенний период изменяется и направление теплового потока: вместо отрицательного при необработанной поверхности (воздух охлаждается) наблюдается положительный тепловой поток (воздух прогревается). Дополнительное прогревание воздуха объясняется повышением поглощающей способности относительно солнечной радиации этих видов покрытий и аккумуляцией в них некоторого дополнительного количества тепла.

Из исследованных видов покрытий наиболее целесообразным является битумное, которое дает такой же эффект, как и асфальтовое, но при значительно меньшей его толщине (тонкая пленка битума эквивалентна асфальтовому покрытию толщиной 15 см).

Увлажнение поверхностей карьера при орошении для борьбы с пылью, выделении грунтовых вод и выпадении атмосферных осадков в летний период способствует охлаждению поверхности вследствие затраты тепла на испарение и, следовательно, вызывает охлаждение воздуха, что, в свою очередь, может ухудшить воздухообмен в карьере. В осенний период по мере снижения температуры воздуха, наоборот, увлажнение вызывает нагрев прилегающих воздушных слоев.

Подземные воды могут выделять при их остывании значительные количества тепла. Отданное в атмосферу карьера — это тепло будет прогревать воздух, способствуя возникновению в атмосфере конвективных течений и интенсифицируя проветривание карьера.

6. БОРЬБА С МЕТАНОМ МЕТОДАМИ ДЕГАЗАЦИИ

6.1. Классификация методов дегазации

С ростом глубины и интенсификации горных работ во многих случаях метанообильность угольных шахт увеличивается в такой степени, что поддерживать содержание метана в выработках в допустимых пределах средствами одной вентиляции невозможно (требуемое очень большое количество воздуха приводит к превышению допустимой скорости его движения в выработках). Вентиляция метанообильных шахт будет облегчена, если искусственно уменьшить количество поступающего газа в выработки, т.е. применить дегазацию.

Дегазация обязательно используется при газообильности участка более 3 м³/мин.

Дегазация шахт – совокупность мероприятий, направленных на извлечение и улавливание метана, выделяющегося из различных источников с изолированным отводом его на поверхность (каптаж), а также предусматривающих физическое или химическое связывание метана до поступления его в горные выработки.

Дегазация угольных пластов – это процесс извлечения газа из угольного массива вакуум-насосами через скважины, подсоединенные к трубопроводу.

Дегазации горных выработок является более широким понятием и включает в себя мероприятий по:

- уменьшению газоносности;
- дегазацию выработанного пространства, в котором продолжается выделение газа из обрушенных пород;
- консервацию газа в массиве горных пород;
- замедление выделения газа из угольного пласта;
- каптаж суфляров.

Дегазация в общем случае обеспечивает уменьшение газовыделения в выработки, повышение безопасности работ, возможность увеличения нагрузки на очистные забои.

Различают **оперативную** дегазацию, применяемую при разработке пласта, участка, блока, и **заблаговременную**, т.е. до начала очистных работ.

Эффективность дегазации оценивается **коэффициентом дегазации**, равным отношению величины снижения газообильности горной выработки за счет дегазации к газообильности выработки без применения дегазации:

$$K_d = \frac{I - I_d}{I} \quad (1)$$

где K_d – коэффициент дегазации, доли ед.;

I – метановыделение в выработку без применения дегазации, м³/мин;

I' – метановыделение в выработку при применении дегазации, $\text{м}^3/\text{мин}$.

Дегазация горных пород может осуществляться через скважины, пробуренные из горных выработок или с земной поверхности в пласты полезного ископаемого и вмещающих пород.

Существующие способы дегазации по принципу воздействия на метаноносную толщу разделены на три группы:

- физический принцип;
- физико-химический;
- биохимический (микробиологический).
-

6.2. Дегазация горных выработок

В пределах каждой группы способы дегазации отличаются методом воздействия на метаноносные угольные пласты и породы.

При разработке мощных пластов угля дегазация пласта состоит в том, что из штрека с некоторым опережением очистного забоя бурят дегазационные скважины (рис. 38), из которых метан откачивают с помощью вакуум-насосов или газоотсасывающих вентиляторов. Расстояние между скважинами — 10-20 м, продолжительность их эксплуатации — 6-8 месяцев; за это время газообильность очистных забоев снижается в 2-2,5 раза.

Коэффициент эффективности дегазации составляет 0,2 – 0,5.

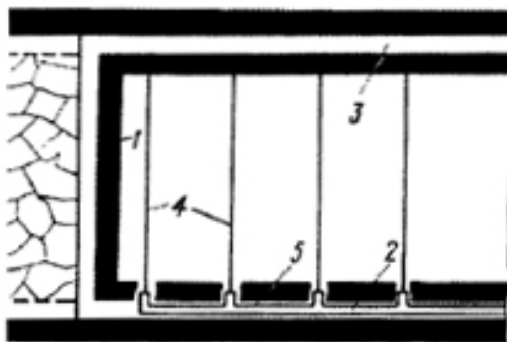


Рис.38. Схема дегазации угольного пласта скважинами:

- 1 – очистной забой, 2 и 3 – откаточный и вентиляционный штреки,
4 – скважины, 5 – дегазационный трубопровод

В случае управления кровлей полным обрушением дегазация выработанного пространства может осуществляться путем отсоса метана через перфорированные трубы длиной 10-30 м, прокладываемые в верхней части выработанного пространства (рис. 39, а), или через скважины, которые бурят из вентиляционного или откаточного штрека расположенного выше выработок (выше горизонта в купол обрушения), например, из вентиляционных штреков (рис. 39, б). Возможна также изоляция

выработанного пространства с помощью перемычек и полимерных покрытий в граничащих с ними выработках.

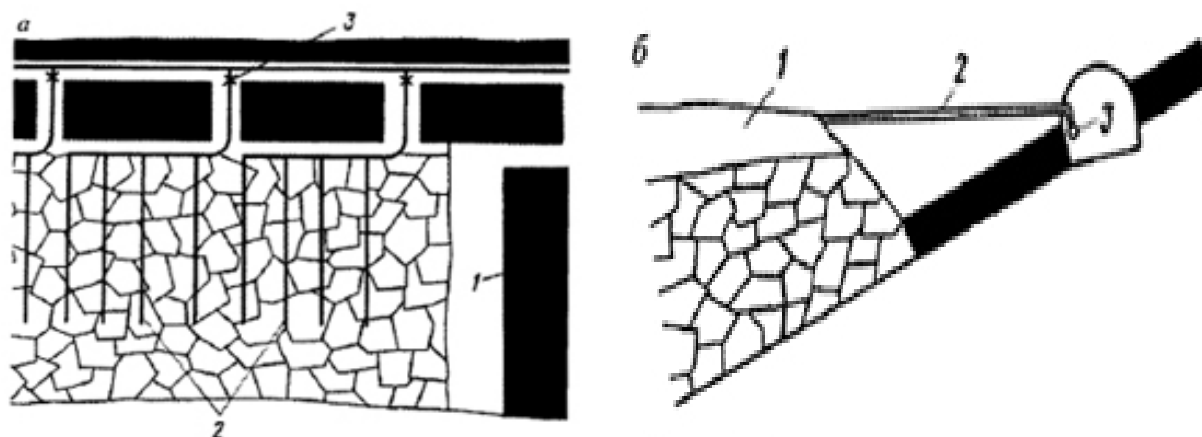


Рис. 39. Схемы дегазации выработанного пространства:

а) через перфорированные трубы:

1 – очистной забой, 2 – перфорированные трубы, 3 – вентиль

б) через скважины:

1 – купол обрушения, 2 – скважина, 3 – трубопровод

В случае нагнетания воды в пласт с целью уменьшения пылеобразования при выемке угля происходит консервация части находящегося в угле метана вследствие заполнения трещин и пор водой под действием давления нагнетания и капиллярных сил. Нагнетание воды в пласт в течение 20 – 30 суток обеспечивает уменьшение в 2 раза газовыделения из пластов при отбойке.

Способ дегазации пластов путем их гидрорасчленения или гидроразрыва заключается в увеличении газопроницаемости угля и пород за счет раскрытия существующих (это гидрорасчленение) и создания новых (это гидроразрыв) трещин посредством нагнетания в пласт жидкости под высоким давлением с последующим отсасыванием метана после откачки жидкости. Жидкость, это обычно вода, нагнетается через скважины, пробуренные из горных выработок или с земной поверхности (рис. 40).

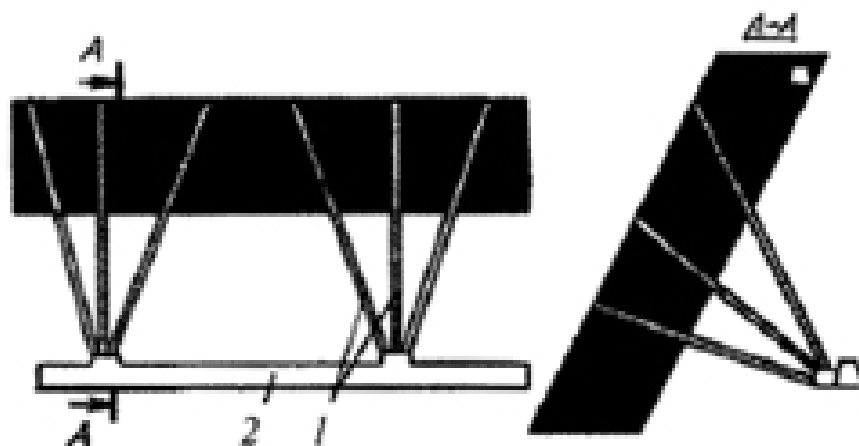


Рис. 40. Схемы дегазации пластов путем их гидрорасчленения

Физико-химический способ дегазации основан на нагнетании в пласты, склонные к увлажнению, специального полимерного раствора, который в порах затвердевает и блокирует в угле метан. Коэффициент эффективности дегазации составляет 0,75 – 0,95.

Консервация метана в угольных пластах и вмещающих породах может быть осуществлена путем их увлажнения или физико-химической обработки. При нагнетании воды в угольный пласт для уменьшения пылеобразования при его выемке происходит заполнение трещин водой и вследствие этого частичная консервация в них метана. Физикохимическое воздействие на угольные пласты и вмещающие породы заключается в нагнетании в массив полимерных растворов, которые после затвердевания блокируют метан в порах и трещинах и предотвращают поступление его в горные выработки.

Снижение газообильности высокогазобильных выемочных участков можно осуществлять также с применением газоотводящих скважин и газоотсасывающих вентиляторов, расположенных на земной поверхности, путем изолированного отвода газовой смеси с любой концентрацией метана. Для этого используют специальные газоотсасывающие высокопроизводительные и высоконапорные вентиляторы типа ВЦГ-7М, УВЦГ-9, УВЦГ-15.

Дегазацию можно выполнить микробиологическим способом, при котором в угольный пласт нагнетают бактериальную суспензию в смеси с воздухом, в этом случае происходит окисление метана и превращение его в белковые соединения в процессе жизнедеятельности бактерий.

6.3. Дегазация при проведении подготовительных выработок

При проведении вертикальных выработок (стволов, шурфов, гезенков) дегазация осуществляется скважинами, пробуренными с поверхности или из камер (рис. 41). Скважины располагаются параллельно выработке на расстоянии $2,5 \div 3$ м от ее стенок.

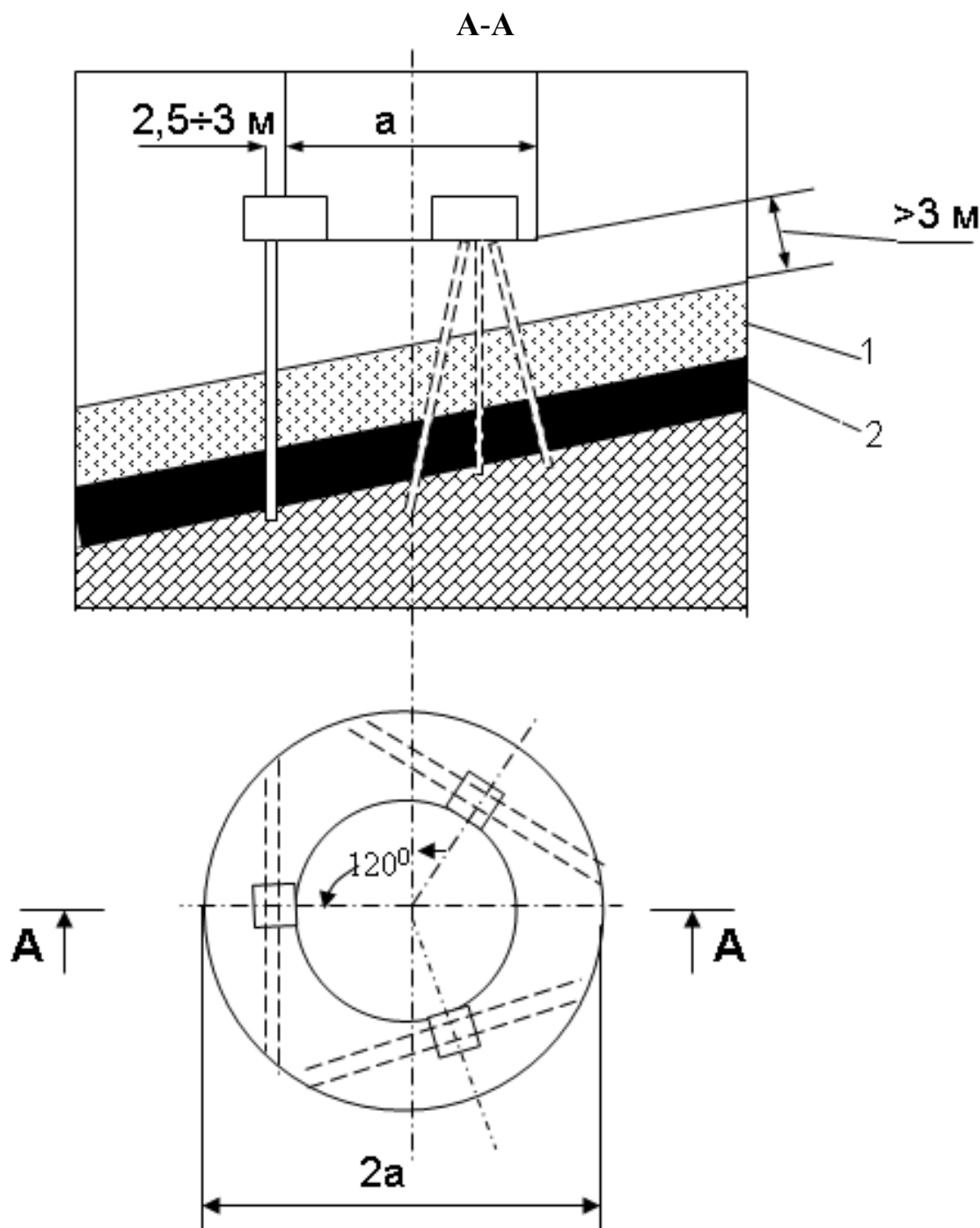


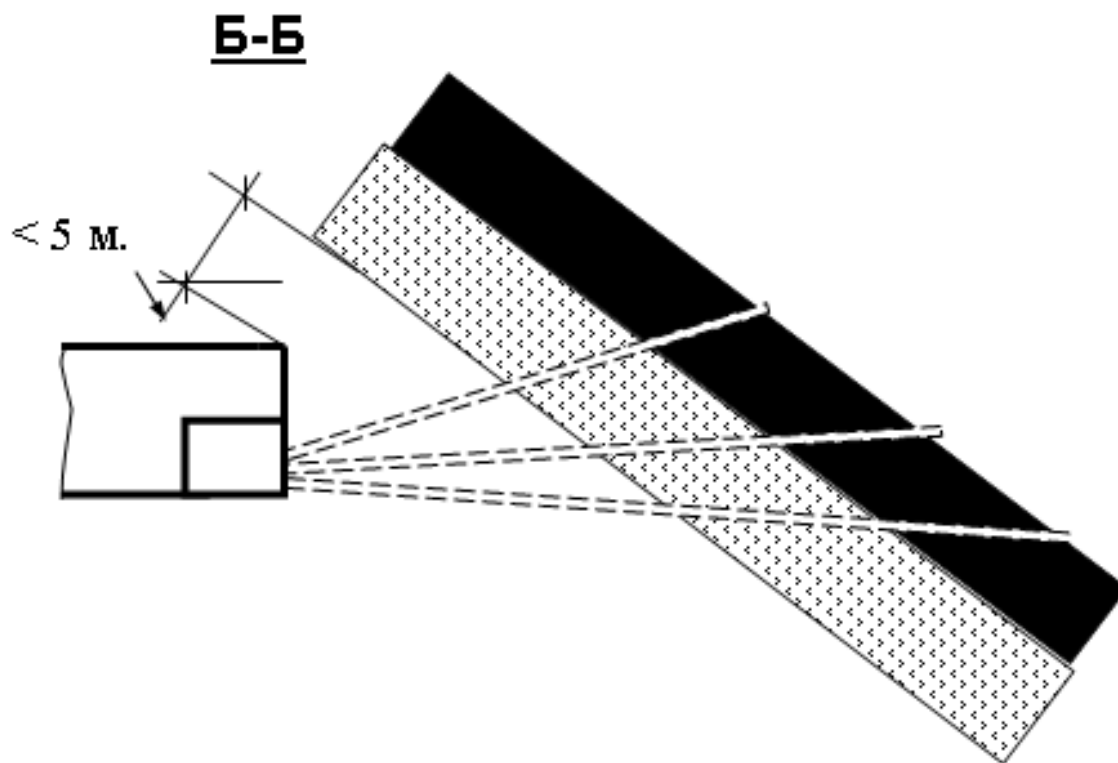
Рис. 41. Схема дегазации газоносного массива при проходке вертикальных выработок:
1-газосодержащая порода; 2- газоносный пласт.

Расстояние между забоями скважин 4-5 м. Величина неснижаемого опережения скважинами забоя выработки должна быть не менее 10 м. Газоносный угольный пласт или слой газосодержащей породы перебуривается полностью.

При проведении квершлагов дегазация осуществляется скважинами, пробуренными из камер. Бурение скважин начинают до подхода забоя квершлага к угольному пласту или газосодержащему слою породы не ближе 5 м.

Направление бурения и количество скважин выбираются так, чтобы скважины пересекали газоносный слой или пласт по окружности, диаметр которой равен удвоенной ширине выработки.

При проведении полевых выработок вблизи метаноносных угольных пластов и пород скважины располагаются по схеме, приведенной на рис. 42 и 43. Бурение и оборудование скважин должно быть завершено до начала разгрузки сближенного пласта.



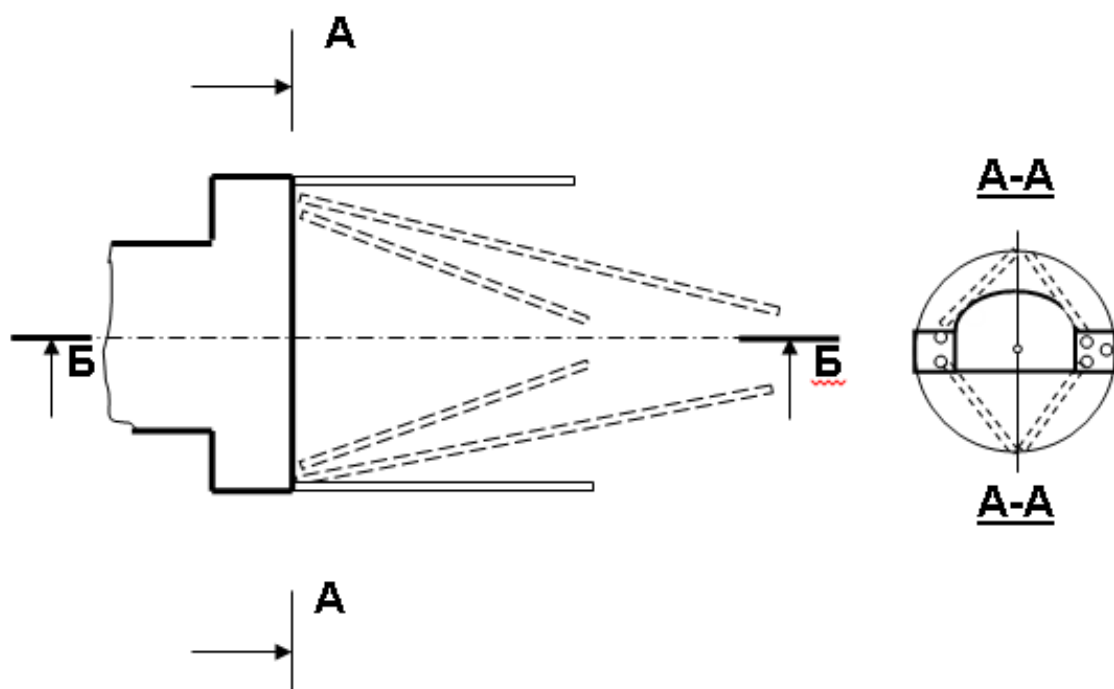


Рис. 42. Схема бурения дегазационных скважин из квершлага

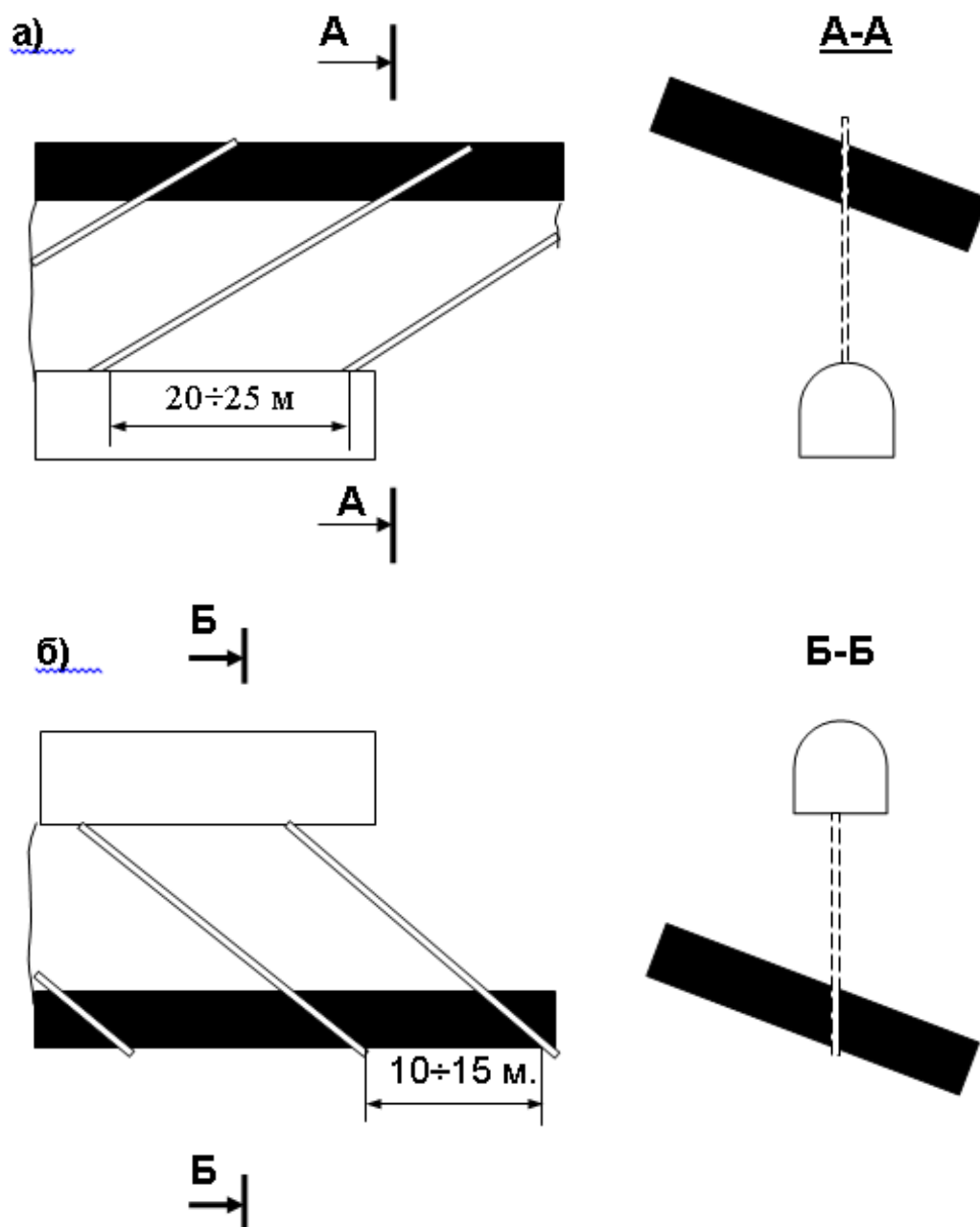


Рис. 43. Схемы бурения дегазационных скважин из подготовительных выработок:

- а) при проведении полевой выработки под пластом;
- б) при проведении полевой выработки над пластом.

В тех случаях, когда не представляется возможности осуществить предварительную дегазацию угольного массива, во время проведения выработки производят бурение барьерных скважин (рис. 44).

Барьерные скважины, расположенные на расстоянии $300 \div 400$ м от забоя выработки, могут быть отключены от дегазационной сети, если они не влияют на газообильность выработки.

Барьерные скважины бурятся из камер под углом к оси выработки. Длина скважин до $100 \div 150$ м. Расстояние между камерами на $15 \div 20$ м меньше длины скважин, устья скважин располагаются на расстоянии в $1,5 \div 2,5$ м от стенки выработки.

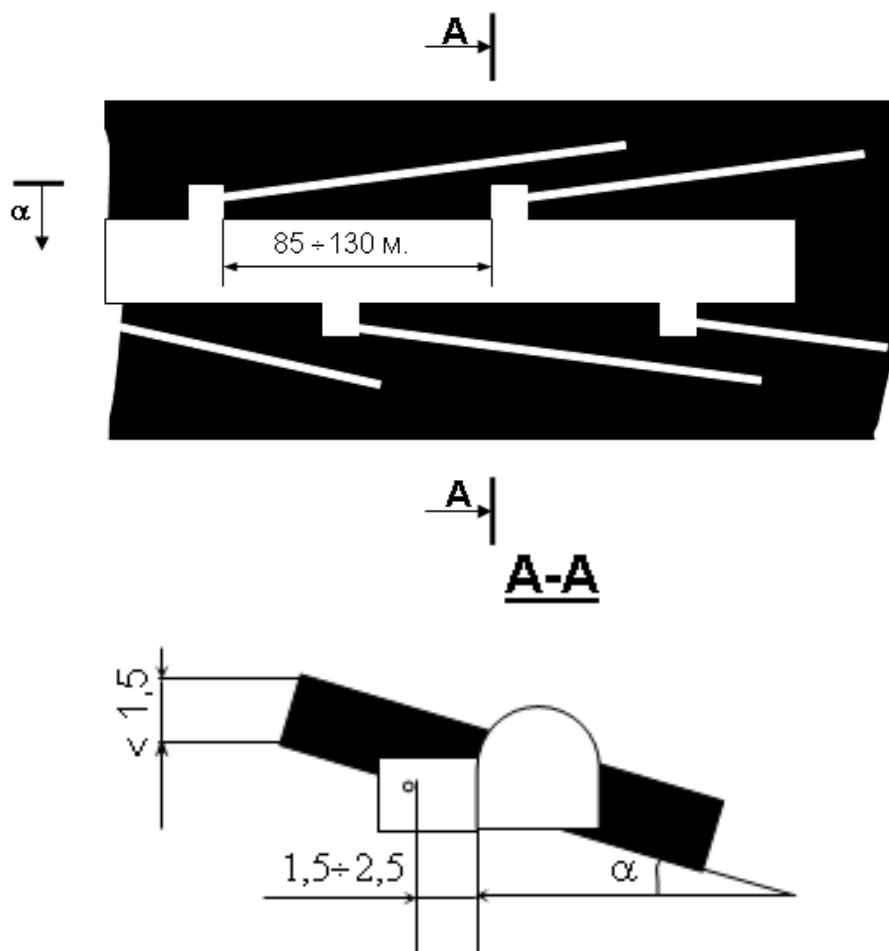


Рис. 44. Схема дегазации барьерными скважинами при проведении подготовительных выработок по пологим пластам

6.4. Дегазация разрабатываемого пласта скважинами

Дегазация разрабатываемых угольных пластов скважинами, пробуренными из подготовительных выработок, осуществляется при подготовке пластов к выемке. Этот способ дегазации применяется как при столбовых, так и при сплошных системах разработки, если в последнем случае имеется достаточное опережение подготовительной выработки относительно лавы.

При дегазации разрабатываемых пластов скважинами, пробуренными из выработок, скважины бурятся в плоскости пласта по восстанию, простиранию, падению или под углом к линии простирания, а также их сочетания или через породную толщу вкрест простирания пласта.

Схемы дегазации с бурением скважин по пласту можно применять при любых значениях мощности и угла падения пласта. Бурение скважин через породную толщу применяется, преимущественно, при отработке крутых мощных пластов.

При длине лавы более 200 м или в случае, когда не удастся пробурить скважины на всю ширину столба, применяются схемы дегазации, предусматривающие бурение скважин из двух выработок.

Нисходящие скважины эффективны только при достаточно хорошем их осушении.

Предварительная дегазация пласта должна осуществляться не менее 6 месяцев восходящими (горизонтальными) скважинами и не менее 12 месяцев — нисходящими.

Параметры дегазационных скважин рассчитываются в зависимости от условий залегания пласта и расположения горных выработок.

6.5. Дегазация пластов гидроразрывом и гидрорасчленением

Дегазация с предварительным гидроразрывом пластов применяется на участках с целью повышения эффективности дегазации или сокращения ее сроков до 4 месяцев для восстающих и горизонтальных и до 8 месяцев — для нисходящих скважин.

Подземные скважины для гидроразрыва бурят по двум основным схемам: из полевых выработок — при полевой подготовке, по разрабатываемому пласту — при пластовой подготовке. При этом скважины для гидроразрыва можно бурить восстающими, нисходящими или горизонтальными.

В том случае, когда выработка проведена с подрывкой почвы пласта, скважины гидроразрыва целесообразно бурить на пласт с таким расчетом, чтобы устье скважины находилось в породах почвы.

При бурении скважин по пласту их длина должна быть на 30-40 м меньше длины лавы, если дегазация осуществляется только для очистных выработок, и на 10÷20 м меньше длины лавы, если дегазация осуществляется как для очистных, так и для подготовительных выработок. Расстояние между скважинами гидроразрыва определяется опытным путем (обычно 80÷100 м), глубина герметизации должна быть не менее половины расстояния между скважинами гидроразрыва.

Гидроразрыв пласта осуществляется водой, нагнетаемой под давлением не менее 15÷20 МПа (150÷200 кгс/см²). Темп закачки не менее 30÷40 м³/ч.

Подготовка и проведение гидроразрыва из выработок включают измерение дебита метана из скважин после гидроразрыва пласта, опробование насоса и электродвигателя до подключения к скважине (без нагрузки), опрессовку нагнетательного става и насоса до давления 20 МПа (200 кгс/см²), включение в работу насоса, контроль за давлением на насосе и расходом воды.

Гидроразрыв пласта прекращают после закачки в пласт заданного объема жидкости или появления воды в соседних скважинах (прилегающих выработках), а также при резком падении давления на насосе.

Скважины гидроразрыва подключаются к вакуумной сети после прекращения обильного выделения воды.

Пластовые дегазационные скважины бурятся после проведения гидроразрыва.

Гидрорасчленение скважинами, пробуренными с поверхности, предназначено для заблаговременной дегазации угольных пластов, когда минимальный срок дегазации более 3 лет.

Расчленению подвергаются пласты, залегающие в водонепроницаемых породах не ниже средней устойчивости.

Скважины гидрорасчленения бурят с конечным диаметром не менее 100 мм на 30÷40 м ниже почвы последнего в свите пласта. Расчленение угольных пластов в свите производят последовательно, начиная с нижнего пласта.

В качестве рабочей жидкости используют водные растворы поверхностно-активных веществ, например, смачивателя ДБ или синтанола ДС-10 в количестве 0,1÷0,2 кг на 1 м³ воды, а также смесей полиэтиленгликолевых эфиров с метиловым спиртом в отношении 3:2, и химически активных веществ – 2 + 4% растворы соляной кислоты. Солянокислотная обработка угольного массива производится на пластах с содержанием карбонатов не менее 0,3%.

После гидрорасчленения скважины закрывают на 3-6 месяцев для выдержки рабочей жидкости в пласте. Затем удаляют рабочую жидкость. При необходимости скважины гидрорасчленения используются для дегазации выработанного пространства путем перфорации обсадной колонны по мощности основной кровли и подключения скважин к вакуумной линии.

6.6. Способы дегазации спутников (сближенных пластов)

Дегазация подрабатываемых пологих и наклонных пластов скважинами из выработок применяется при наличии газоносных пластов и пород в зоне разгрузки отработываемого пласта выше зоны беспорядочного обрушения.

Параметры бурения скважин следует выбирать так, чтобы скважины пересекали в зоне разгрузки наиболее мощный из подрабатываемых пластов, расположенный не далее 60 м по нормали от разрабатываемого.

При вынимаемой мощности пласта до 2 м, если в интервале $15 \cdot m < M < 30$ м подрабатываемых угольных пластов нет, то скважины следует бурить до пересечения ближайшего подрабатываемого пласта или контакта с крепким породным слоем.

Схемы дегазации подрабатываемых пластов различаются по расположению скважин относительно горных выработок. Каждая схема может иметь несколько вариантов, отличающихся условиями ее применения и эффективностью дегазации.

Для увеличения срока действия скважин их можно оставлять в выработанном пространстве подключенными к газопроводу, приняв меры по охране устьев скважин и трубопровода.

В период первичной посадки основной кровли при отходе забоя лавы от разрезной печи рекомендуется дополнительно бурить скважины из

подготовительной выработки под охраной угольных целиков угля до подрабатываемых пластов.

Дегазацию скважинами с поверхности рекомендуется осуществлять при глубине разработки до 600 м, если подземные скважины недостаточно эффективны, а условия поверхности позволяют разместить буровое и дегазационное оборудование.

Место заложения скважины на поверхности следует выбирать так, чтобы к моменту окончания бурения проекция ее забоя на разрабатываемый пласт находилась на расстоянии не менее 30 м впереди очистного забоя и на удалении от вентиляционной выработки не выше половины длины лавы.

Первая скважина должна располагаться на расстоянии 30÷40 м от разрезной печи (монтажной камеры).

Глубина скважины должна быть такой, чтобы расстояние между ее забоем и кровлей вынимаемого пласта равнялось десяти его мощностям.

Скважина обсаживается трубами, затрубное пространство тампонируется цементным раствором на глубину не менее 50 м, тампонирование также производится в местах пересечения водоносных горизонтов и выработанных пространств. Нижняя часть обсадной трубы перфорируется отверстиями диаметром 10÷15 мм, 20 отверстий на 1 м трубы. Конец неперфорированной части обсадной колонны должен располагаться от кровли вынимаемого пласта на расстоянии не менее 30 его мощностей. При наличии крепких пород нижнюю часть скважины на этом расстоянии от забоя скважины не обсаживают.

После окончания бурения скважины должны быть промыты водой для удаления из них шлама. В момент прохода лавы под скважиной она должна быть подключена к вакуум-насосу. Величина разрежения, создаваемая в скважинах, не менее 150 мм рт. ст.

Конечный диаметр скважин и расстояние между ними определяются в зависимости от газоносности подрабатываемых пластов и необходимой эффективности их дегазации.

Дегазация надрабатываемых пластов осуществляется скважинами, пробуренными из выработок разрабатываемого пласта или выработок, проведенных в почве пласта.

Во всех случаях предпочтение следует отдавать восстающим скважинам, так как в нисходящих скважинах скапливается вода, что снижает их эффективность.

6.7. Дегазация выработанных пространств

Дегазация выработанных пространств скважинами практически не отличается от дегазации подрабатываемых сближенных пластов. Отличие состоит в том, что при дегазации выработанных пространств скважины располагают в зоне беспорядочного обрушения пород или вблизи этой зоны.

Широкое распространение для ликвидации опасных местных скоплений метана при выемке угольных пластов нашел изолированный отвод метана из

выработанных пространств с помощью газоотсасывающих вентиляторов (эжекторов).

Метан, отводимый за пределы выемочных участков, выпускается в выработку с исходящей вентиляционной струей после предварительного разбавления его воздухом в смесительной камере до норм ПБ.

В качестве источника тяги могут быть использованы эжекторы и газоотсасывающие вентиляторы, в которых исключена возможность воспламенения метана при ударах и трении вращающихся частей о корпус вентилятора. Электрический привод вентилятора должен омываться свежим воздухом.

Отвод метана из выработанного пространства при столбовой системе разработки с помощью газоотсасывающей установки производится по жесткому трубопроводу диаметром 0,5 – 0,9 м. Погашаемый тупик, длина которого не должна превышать 6 м, отделяется от выработки дощатой перемышкой, обитой материалом из вентиляционных труб.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите состав атмосферного воздуха.
2. Назовите основные составляющие рудничного воздуха.
3. Чем отличается атмосферный воздух от воздуха в горных выработках?
4. Что влияет на состав и параметры шахтного воздуха?
5. Предельно допустимые концентрации вредных и ядовитых газов в рудничном воздухе.
6. Назовите физико-химические свойства метана.
7. Пределы взрывчатости метана и водорода.
8. Допустимое содержание метана в горных выработках.
9. Каков порядок измерения концентраций составляющих рудничного воздуха химическим газоанализатором?
10. Абсолютная и относительная газообильность шахт.
11. Чем отличается абсолютная газообильность от относительной?
12. В каких состояниях находится метан в породах?
13. Назовите формы связи метана с породами.
14. Дайте характеристику видов выделения метана в шахтах.
15. Дайте определение метаносности и метаноемкости.
16. Категории угольных шахт по газообильности.
17. Перечислите причины возникновения и мероприятия по предупреждению внезапных выделений метана?
18. Назовите мероприятия по борьбе с метаном в шахтах.
19. Каково назначение дегазации?
20. Допустимые скорости движения воздуха в горных выработках.
21. Понятие депрессии.
22. В чем отличие схемы вентиляции от схемы вентиляционных соединений?
23. Как может быть определена величина естественной тяги?
24. Как влияет естественная тяга на проветривание шахты?
25. Дайте характеристику видам аэродинамического сопротивления горных выработок.
26. Приведите примеры местных сопротивлений.
27. В чем отличие местного сопротивления от лобового?
28. Назовите виды вентиляторов. Чем они отличаются?
29. Приведите упрощенную схему устройства центробежного вентилятора.
30. Приведите упрощенную схему устройства центробежного вентилятора.
31. Какие существуют схемы вентиляторных установок главного проветривания?
32. Перечислите требования Правил безопасности к устройству главной вентиляторной установки.
33. Назовите виды вентиляционных сооружений. Приведите схемы их конструкции.
34. Какие бывают виды регулирования расходов воздуха в горных выработках?

35. Как осуществляется регулирование воздухораспределения с помощью вентиляционного окна?
36. Перечислите виды утечек воздуха?
37. Охарактеризуйте утечки воздуха через вентиляционные сооружения.
38. Чем утечки воздуха через выработанные пространства отличаются от утечек воздуха через вентиляционные сооружения?
39. Источники образования, классификация и вред шахтной пыли?
40. Дайте характеристику горючих и взрывчатых свойств пыли.
41. Перечислите факторы, влияющие на взрывчатость угольной пыли?
42. Перечислите мероприятия по предупреждению взрывов угольной пыли.
43. Перечислите мероприятия по локализации и ликвидации последствий взрывов угольной пыли.
44. Назначение и принцип работы водяных и сланцевых заслонов.
45. Назовите способы проветривания тупиковых выработок.
46. Назовите причины возникновения и последствия неблагоприятного воздействия теплового фактора на рабочих и оборудование.
47. В чем преимущества и недостатки центральных схем проветривания?
48. Какие параметры включает в себя понятие микроклимат?
49. Какие метеорологические характеристики определяет географическое положение района расположения карьера?
50. Назовите виды схем проветривания карьеров энергией ветра.
51. Какая схема проветривания карьера является наиболее благоприятной и почему?
52. Какие виды воздушных струй образуются при рециркуляционной схеме проветривания карьера?
53. Изобразите прямоточно-рециркуляционную схему проветривания карьера.
54. Как движутся воздушные массы при конвективной схеме проветривания карьера?
55. Чем инверсионная схема проветривания карьера отличается от конвективной?
56. Что называется слоем инверсии?
57. Опишите комбинированную схему проветривания карьеров.
58. Назовите способы борьбы с вредностями в карьере.
59. Назовите цели и виды искусственного проветривания карьеров.
60. Как влияет на проветривание ориентация карьера в плане и расположенные рядом отвалы и здания?

Заключение

В учебном пособии рассмотрены особенности атмосферы и микроклимата карьеров и шахт, источники выделения пыли, газов и меры борьбы с ними. Описаны закономерности движения воздуха, способы, схемы и технические средства вентиляции. Рассмотренные в данном пособии вопросы позволяют обучающимся ознакомиться с общими положениями дегазации шахт, кондиционирования воздуха, борьбе со скоплениями газов и освоить дисциплину «Аэрология горных предприятий».

В первой главе отражены основные понятия и определения атмосферного воздуха. Вторая глава посвящена шахтным вентиляционным сетям. В третьей главе рассмотрен подробно вентиляционные установки и сооружения. В четвертой главе рассмотрены общие сведения о вентиляции горных предприятий. Пятая глава посвящена аэрологии карьеров. В шестой главе рассмотрены методы борьбы с метаном на горных предприятиях.

В учебном пособии приведены вопросы для самоконтроля обучающихся.

Библиографический список

1. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 421 с.
2. Ушаков К.З., Михайлов В.А. Аэрология карьеров: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. Под ред. В.В. Ржевского. – М.: Недра, 1985. – 272 с.
3. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Медведев И.И. Рудничная аэрология. Изд. 2, перераб. и доп. – М.: Недра, 1978. – 440 с.
4. Горбунов В.И. Проектирование вентиляции рудных шахт: Учеб. пособие. Магнитогорска: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 135 с.
5. Кириин Б.Ф., Ушаков К.З. Рудничная и промышленная аэрология. Учебник для вузов. М., Недра, 1983. – 256 с.
6. Рудничная вентиляция: Справочник / Н.Ф. Гращенков, А.Э. Петросян, М.А. Фролов и др.; под ред. К.З. Ушакова. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Недра, 1988, - 440 с.
7. Рудничная вентиляция. Комаров В.Б., Килькеев Ш.Х. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., изд-во «Недра», 1969 г., 416 стр.
8. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и рассыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553-03).
9. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом (ПБ 03-498-02).

Приложение Б

**Технические данные центробежных вентиляторов главного
проветривания**

Параметры	Типоразмер вентилятора						
	ВЦ- 11М	ВЦ- 11М	ВШЦ- 16	ВШЦ- 16	ВЦП- 16	ВЦ- 25М	ВЦ- 25М
Диаметр рабочего колеса, мм	1100	1100	1600	1600	1600	2500	2500
Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	1500	1000	1000	750	1500	750	600
Номинальная подача, м ³ /с	14	9,5	29	21,5	29	62	50
Номинально статическое давление, Па	2710	1200	2580	1430	7060	3870	2450
Максимальный статический КПД	0,85	0,85	0,85	0,85	0,87	0,86	0,86
Подача в области промышленного использования, м ³ /с	5,5– 20,5	4–13,3	11–42	9–31	10–46	25–95	22–77
Статическое давление в области промышленного использования, ПА	3430– 1130	1450– 510	3280– 1080	1830– 600	9200– 1960	4600– 1520	2900– 980
Способ регулирования	НА	НА	НА	НА	НА	НА	НА

Окончание приложения Б
Технические данные центробежных вентиляторов главного
проветривания

Параметры	Типоразмер вентилятора					
	ВЦ-31,5М	ВЦ-31,5М	ВЦД-31,5М	ВЦД-47,5У	ВЦД-47,5У	ВЦД-47,5У-Р
Диаметр рабочего колеса, мм	3150	3150	3150	4700	4700	4700
Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	600	500	600	500	375	500
Номинальная подача, м ³ /с	108	90	200	400	300	400
Номинально статическое давление, Па	4200	2950	5000	6300	3800	6300
Максимальный статический КПД	0,84	0,84	0,84	0,85	0,85	0,85
Подача в области промышленного использования, м ³ /с	45–160	37–134	35–305	145–590	110–460	90–590
Статическое давление в области промышленного использования, ПА	5100–1800	3580–1300	5100–500	8300–2300	4900–1200	8300–900
Способ регулирования	НА	НА	Изменение частоты вращения	НА	НА	Изменение частоты вращения

Приложение В

Технические данные вентиляторов местного проветривания типа ВМ

Параметры	ВМ-3М	ВМ-4М	ВМ-5М	ВМ-6М	ВМ-8М	ВМ-12М
Подача, м ³ /с: номинальная	1,0	2,0	3,17	5,67	10	20
в области промышленного использования	0,7- 1,67	0,83- 2,58	1,67- 4,67	2,33-8,0	4,0-13	10-32
Полное давление, даПа: номинальное	95	130	210	260	280	250
в области промышленного использования	100-40	145-70	240-60	340-75	420-80	380-80
Мощность электродвигателя, кВт	2,2	4,0	13	24	55	110
Частота вращения, мин ⁻¹	2900	2900	2940	2940	2960	1470
Максимальный полный КПД: вентилятора	0,70	0,72	0,75	0,76	0,80	0,76
вентиляторного агрегата	0,60	0,61	0,67	0,68	0,72	0,70
Диаметр рабочего колеса, мм	296	396	496	595	700	1185
Номинальный внутренний диаметр присоединительного патрубка, мм	300	400	500	600	800	1200
Масса, кг	85	138	250	350	795	2300

Учебное текстовое электронное издание

**Наталья Викторовна Гмызина
Наталья Анатольевна Сединкина
Ольга Петровна Шавакулева**

АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебное пособие

Ответственность за содержание возлагается на авторов
Издается полностью в авторской редакции

1,42 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2022 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых
Библиотечно-информационный комплекс
e-mail: bik@magtu.ru