

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



**В.И. ГОЛИНЬКО  
Я.Я. ЛЕБЕДЕВ  
О.А. МУХА**

# **ВЕНТИЛЯЦИЯ ШАХТ И РУДНИКОВ**

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины  
как учебное пособие для студентов высших учебных заведений

Днепропетровск  
НГУ  
2014

ББК 26.233  
УДК 622.41  
Г60

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю «Розробка родовищ та видобування корисних копалин» (протокол № 1/11-20789 від 31.12.2013).

Рецензенти:

Ю.Ф. Булгаков – завідувач кафедри охорони праці та аерології, д-р техн. наук, професор Донецького національного технічного університету;

А.О. Гурін – завідувач кафедри рудникової аерології та охорони праці, д-р техн. наук, професор Криворізького національного університету.

**Голинько В.И.**

**Г60** Вентиляция шахт и рудников: учеб. пособие / В.И. Голинько, Я.Я. Лебедев, О.А. Муха; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 266 с.

ISBN 978–966–350–492–6

Рассмотрены структура и основные элементы шахтных вентиляционных систем, способы и схемы проветривания шахт, рудников, карьеров, вентиляции выемочных участков и тупиковых выработок, вопросы обоснования параметров систем вентиляции, выбора и обоснования характеристик технических средств, обеспечивающих расчетные значения параметров систем вентиляции.

Предназначено для студентов специальности «Разработка месторождений и добыча полезных ископаемых» и соответствует программе дисциплины «Вентиляция шахт и рудников».

Может быть использовано при подготовке к занятиям по повышению квалификации инженерно-технических работников горных предприятий, а также студентами других специальностей, обучающихся по направлению «Горное дело».

УДК 622.41  
ББК 26.233

ISBN 978–966–350–492–6

© В.І. Голінько, Я.Я. Лебедев, О.А. Муха, 2014  
© Державний ВНЗ «НГУ», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	7
Часть I. ПРОВЕТРИВАНИЕ ШАХТ И РУДНИКОВ.....	9
1. ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ.....	9
1.1. Структура шахтных вентиляционных систем.....	9
1.2. Вентиляционная установка .....	9
1.3. Назначение, аэродинамические характеристики и особенности шахтных вентиляторов.....	14
1.3.1. Назначение и типы вентиляторов, применяемых в горной промышленности.....	14
1.3.2. Характеристики вентиляторов.....	17
1.3.3. Регулировочные графики и зоны промышленного использования вентиляторов.....	19
1.3.4. Работа вентилятора в шахтной вентиляционной сети.....	21
1.3.5. Регулирование производительности вентиляторов.....	22
2. СПОСОБЫ И СХЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ И РУДНИКОВ.....	27
2.1. Способы проветривания шахт и рудников.....	27
2.2. Схемы проветривания шахт.....	29
2.3. Схемы проветривания марганцевых шахт.....	34
2.4. Основные схемы проветривания рудников.....	44
3. ВЕНТИЛЯЦИЯ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК.....	52
3.1. Схемы и способы вентиляции тупиковых выработок.....	52
3.1.1. Проветривание за счет общешахтной депрессии.....	52
3.1.2. Нагнетательный способ проветривания тупиковых выработок.....	53
3.1.3. Всасывающий способ проветривания.....	55
3.1.4. Комбинированный способ проветривания.....	59
3.2 Вентиляционное оборудование для проветривания тупиковых выработок.....	61
3.2.1. Вентиляторы местного проветривания.....	61
3.2.2. Вентиляционные трубы.....	63
3.2.3. Вставки в трубопроводы.....	65
3.2.4. Пускорегулирующие устройства.....	65
3.2.5. Способы и средства повышения эффективности вентиляции.....	67
3.3 Расчет вентиляции тупиковых выработок.....	70
3.3.1. Расчет расхода воздуха для проветривания призабойного пространства.....	71
3.3.2. Расчет расхода воздуха для проветривания всей тупиковой выработки.....	75
3.3.3. Выбор и определение аэродинамических характеристик средств проветривания тупиковых выработок.....	77
3.3.4. Выбор побудителя тяги.....	80
4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ.....	83
4.1. Газовыделения на выемочных участках.....	83

4.1.1. Газоносность угольных пластов и вмещающих пород.....	83
4.1.2 Влияние выработанного пространства на газообильность выемочного участка.....	86
4.2. Запыленность воздуха на выемочных участках.....	88
4.3. Тепловыделение на выемочных участках.....	89
4.4. Выбросоопасность пластов.....	90
4.5. Схемы проветривания выемочных участков и их классификация....	91
4.5.1. Основные классификационные признаки схем проветривания.....	91
4.5.2. Варианты схем проветривания.....	94
4.6. Технологические и эксплуатационные требования к схемам проветривания выемочных участков.....	94
4.6.1. Основные недостатки применяемых схем проветривания.....	94
4.6.2. Особенности проветривания выемочных участков, разрабатывающих пласты, представленные углями, склонными к самовозгоранию.....	104
4.6.3. Требования к схемам проветривания выемочных участков.....	107
4.7. Аэрогазодинамика выемочных участков при схемах их проветривания с обособленным разбавлением вредностей.....	108
4.7.1. Влияние дополнительных воздухопроводов на аэрогазодинамику воздушных потоков выемочного участка.....	108
4.7.2. Влияние удельных утечек воздуха и дебита метана по длине выработки на аэрогазодинамику выемочных участков.....	110
4.7.3. Обоснование перехода к повышенной допустимой норме содержания метана в исходящей струе участка.....	115
4.7.4. Влияние схем проветривания на аэрогазодинамику выемочного участка.....	116
4.8. Эффективность схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей.....	118
4.8.1. Показатели безопасности схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей.....	118
4.8.2. Санитарно-гигиенические показатели схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей.....	121
4.8.3. Техничко-экономические показатели схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей.....	122
4.9. Порядок выбора схемы проветривания выемочного участка.....	125
4.9.1. Критерии выбора схемы проветривания выемочного участка.....	125
4.9.2. Выбор схемы проветривания выемочного участка для газовых и глубоких шахт.....	128
4.9.3. Выбор схемы проветривания выемочного участка для шахт, разрабатывающих выбросоопасные пласты.....	128
4.9.4. Выбор схемы проветривания выемочного участка для шахт, разрабатывающих самовозгорающиеся пласты.....	129
4.9.5. Выбор схемы проветривания выемочного участка для шахт, разрабатывающих пласты с неустойчивыми боковыми породами.....	129
4.10. Схемы вентиляции при разработке мощных крутых пластов.....	130

4.11. Проветривание выемочных участков марганцевых шахт.....	133
4.12. Эжекторно-каскадные схемы проветривания тупиковых заходок...	139
4.12. Вентиляция очистных блоков в рудных шахтах.....	141
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ И РУДНИКОВ.....	149
5.1. Общие сведения.....	149
5.2. Порядок проектирования вентиляции шахт.....	149
5.3. Прогноз метанообильности горных выработок.....	151
5.3.1. Метанообильность выемочных участков.....	151
5.3.2. Метанообильность очистных выработок.....	156
5.3.3. Метанообильность тупиковых выработок.....	157
5.3.4. Результаты прогноза метанообильности горных выработок.....	158
5.4. Выбор схемы проветривания выемочного участка.....	159
5.5. Расчет максимально допустимой нагрузки на очистную выработку по газовому фактору.....	163
5.6. Дегазация горных выработок.....	166
5.6.1. Условия применения дегазации.....	166
5.6.2. Способы и эффективность дегазации.....	168
5.6.3. Газообильность выработок с дегазацией.....	169
5.7. Выбор способа и схемы проветривания шахты.....	170
5.8. Расчет расхода воздуха для проветривания шахты.....	171
5.8.1. Расход воздуха для шахты в целом.....	171
5.8.2. Расход воздуха для очистных выработок.....	172
5.8.3. Расход воздуха для выемочных участков.....	173
5.8.4. Расход воздуха для тупиковых выработок.....	174
5.8.5. Расход воздуха для погашаемых выемочных участков.....	178
5.8.6. Расход воздуха для поддерживаемых выработок.....	173
5.8.7. Расход воздуха для обособленно проветриваемых камер.....	176
5.8.8. Утечки воздуха через вентиляционные сооружения.....	179
5.8.9. Результаты расчетов расхода воздуха.....	181
5.9. Расчет вентиляторной установки главного проветривания.....	181
5.9.1. Статическое давление вентиляторной установки.....	181
5.9.2. Подача вентиляторной установки.....	184
5.9.3. Выбор (проверка) вентиляторной установки.....	185
Часть II. ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ.....	186
6. ЕСТЕСТВЕННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ.....	186
6.1. Проветривание карьеров энергией ветра.....	186
6.1.1. Прямоточная схема проветривания карьеров.....	186
6.1.2. Рециркуляционная схема проветривания карьеров.....	189
6.1.3. Рециркуляционно-прямоточная схема проветривания карьеров.....	196
6.1.4. Прямоточно-рециркуляционная схема проветривания карьеров....	197
6.1.5. Определение параметров проветривания карьера, если температурная стратификация отличается от адиабатической.....	198
6.2. Проветривание карьеров энергией термических сил.....	199
6.2.1. Конвективная схема проветривания карьеров.....	200
6.2.2. Инверсионная схема проветривания карьеров.....	203

6.2.3. Комбинированные схемы проветривания карьеров.....	205
7. ИСКУССТВЕННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ.....	207
7.1. Интенсификация проветривания карьеров.....	207
7.1.1. Ориентация карьера в плане.....	207
7.1.2. Размеры карьера.....	208
7.1.3. Угол откоса и профиль борта карьера.....	209
7.1.4. Вентиляционные сооружения на поверхности.....	209
7.1.5. Изменение окраски обнажений горных пород на поверхностях карьера.....	211
7.1.6. Аккумуляция тепла в специальных резервуарах.....	211
7.1.7. Использование глубинного тепла горных пород.....	211
7.1.8. Использование тепла подземных вод.....	212
7.2. Проветривание карьеров при использовании труб и горных выработок.....	212
7.3. Проветривание карьеров при использовании свободных струй.....	215
7.3.1. Схемы местной вентиляции.....	222
7.3.2. Схемы общеобменной вентиляции.....	226
8. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ КАРЬЕРОВ.....	240
8.1. Общие сведения.....	240
8.2. Оценка природных условий в районе заложения карьера.....	242
8.3. Выбор технологических основ открытых горных работ по фактору вентиляции.....	244
8.4. Определение параметров естественного проветривания карьера.....	248
8.5. Определение количества и содержания вредных веществ в атмосфере карьера.....	250
8.6. Интенсификация естественного проветривания карьеров и технологические мероприятия по оздоровлению их атмосферы.....	254
8.7. Определение периодов и масштабов применения средств искусственной вентиляции.....	255
8.8. Определение расхода воздуха, необходимого для вентиляции карьера.....	257
8.9. Выбор вентиляторных установок, мест их расположения и схем вентиляции.....	258
8.10. Определение числа вентиляторных установок.....	260
8.11. Оценка эффективности применения искусственной вентиляции....	263
ЛИТЕРАТУРА.....	265

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие соответствует программе дисциплины «Вентиляция шахт и рудников» и предназначено для студентов специальности «Разработка месторождений и добыча полезных ископаемых».

Цель дисциплины: формирование у будущих специалистов с высшим образованием необходимого в их последующей профессиональной деятельности уровня знаний и умений по выбору и расчету параметров способов и схем вентиляции выемочных участков и тупиковых выработок, обоснованию методов расчета вентиляции шахт, рудников и карьеров.

Задачи дисциплины:

- научный анализ рудничной атмосферы, технологических процессов, производственного оснащения рабочих мест и трудовых операций, организации производства;

- расчет параметров проветривания горных выработок;

- выбор и обоснование технических средств, обеспечивающих расчетные значения параметров проветривания рабочих мест.

Рудничная вентиляция занимает особое место в решении задачи дальнейшего улучшения охраны труда, обеспечивая требуемые санитарно-гигиенические условия труда и безопасное состояние рудничной атмосферы.

В последнее время возросла роль вентиляции и в создании условий для высокопроизводительной работы в шахтах. Требования непрерывного повышения безопасности труда и интенсификации производственных процессов поставили перед рудничной вентиляцией ряд новых задач и явились причиной ее быстрого развития в последние полтора десятилетия. Это привело к значительному углублению знаний в классических разделах рудничной вентиляции, таких, как дегазация, аэродинамическое сопротивление горных выработок, вентиляционные сети и другие, а также к формированию новых разделов этой науки (автоматизация вентиляции), динамика шахтных аэрозолей, надежность вентиляционных систем) и новых направлений в ранее существовавших разделах. Коренным образом изменились методы проектирования вентиляции.

Рудничная вентиляция – это совокупность мероприятий и средств, предназначенных для обеспечения параметров рудничной атмосферы, установленных санитарными нормами и технологическими требованиями.

Вентиляционная система – это техническая система, поддерживающая значения параметров воздушной среды в ограниченных объемах (помещениях, горных выработках и др.) в соответствии с установленными санитарными нормами и технологическими требованиями и состоящая из четырех основных подсистем: “Вентиляционная сеть”, “Вентиляционная установка”, “Вентиляционные устройства” и “Контроль и управление”.

Вентиляционная сеть – это совокупность выработок и местных сопротивлений, состоящих из протяженных горных выработок–воздуховодов (длинные участки) и местных сопротивлений – (короткие участки).

Вентилятор – это воздуходувная машина, создающая разность давлений в вентиляционной сети, под влиянием которого перемещается воздух. По принципу действия они бывают осевые и центробежные.

Вентиляционная установка – это совокупность технических средств (вентилятор), оборудования (устройства реверсирования) и сооружений (каналы вентилятора) для создания необходимого вентиляционного потока и управления им в нормальном и аварийном режиме проветривания шахты

Вентиляционные сооружения – это средства для осуществления заданного распределения вентиляционных потоков по сети горных выработок.

Утечки это та часть воздуха, которая не поступает к местам его использования, так как уходит в исходящую струю непредусмотренными путями.



# Часть I. ПРОВЕТРИВАНИЕ ШАХТ И РУДНИКОВ

## РАЗДЕЛ 1. ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

### 1.1. Шахтные вентиляционные системы.

Шахтную вентиляционную систему (ШВС) можно представить как систему, состоящую из четырех основных подсистем: “Вентиляционная установка”, “Вентиляционная сеть”, “Вентиляционные устройства”, “Подсистема контроля и управления”.

Шахтная вентиляционная система отличается от вентиляционных систем общепромышленного назначения. Основные отличия состоят в следующем:

- в изменении в процессе эксплуатации одного из основных элементов ШВС – сети горных выработок (постоянно меняется топология сети, протяженность горных выработок и их сечение);

- в совмещенности элементов вентиляционных сетей с технологическими процессами (горные выработки используются не только для движения воздуха);

- в наличии крупномасштабной (естественной и искусственной) шероховатости стенок выработок, образованной обнаженными поверхностями горных пород или элементами крепи различного профиля (круглого, квадратного, прямоугольного, двутаврового, специального и др.);

- в загромождении поперечного сечения выработки различными предметами и материалами сложной формы (ремонтными, стойками, конвейерами, комбайнами, вагонетками, арматурой стволов, породой, штыбом и др.);

- в сложности конфигураций выработок и других элементов вентиляционной системы, включающих участки с поворотами, внезапными сужениями и расширениями, ответвлениями и др. Зачастую такие участки представляют собой последовательные соединения, что еще больше усложняет условия движения по ним воздуха;

- в негерметичности отдельных элементов, в которых происходит интенсивный обмен количества движения по живому сечению потока и имеют место дополнительные потери напора на преодоление сопротивления токов и вихрей, возникающих в потоке в связи с присоединением или отделением струй воздуха.

### 1.2. Вентиляционная установка.

Вентиляционные установки делятся на главные и вспомогательные. К главным относятся установки, обслуживающие всю шахту или часть ее (крыло, блок, панель), к вспомогательным – обслуживающие один – два очистных забоя с прилегающими к ним подготовительными выработками.

Главная вентиляционная установка (рис. 1.1) состоит из двух вентиляторов (рабочего и резервного) с электродвигателями, подводящего канала с соединительным коленом, обводного канала, диффузора, ляд для реверсирования воздушной струи, грузоподъемных устройств для перемещения ляд, выходного канала, здания, всасывающей будки, пускорегулирующей аппаратуры и аппара-

туры автоматизации. В осевых вентиляторах имеется дополнительно глушитель шума.

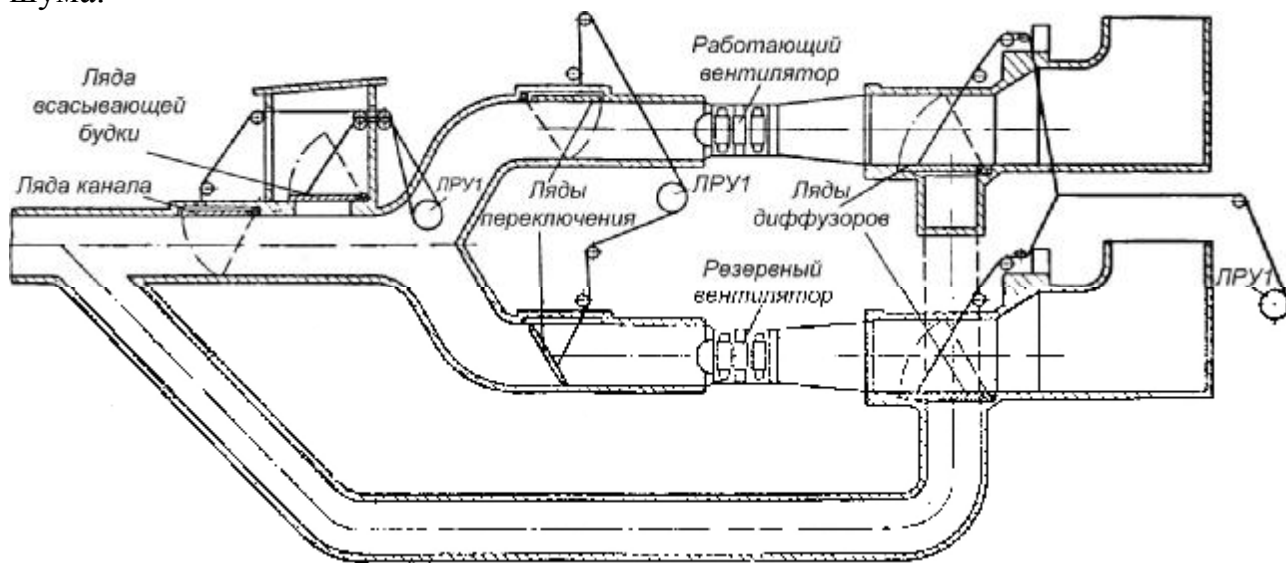


Рис. 1.1. Вентиляционная установка

Шахтная вентиляторная установка в соответствии с Правилами безопасности должна иметь два самостоятельных агрегата – рабочий и резервный. На новых и реконструируемых шахтах оба агрегата должны быть одного типа и размера. На негазовых шахтах допускается установка одного вентилятора с резервным электродвигателем.

## Основные элементы шахтных вентиляционных установок

### Каналы

Подводящий канал соединяет вентиляционную установку со стволом шахты. Площадь поперечного сечения канала должна обеспечить скорость движения воздуха не более 15 м/с. Канал состоит из прямого участка и ответвлений к рабочему и резервному вентиляторам. Все сопряжения должны быть плавными, углы поворота струи минимальны, стенки гладкими.

Сечение подводящих каналов прямоугольное. Восьмигранным делается наклонный участок канала перед осевыми вентиляторами, обеспечивающий плавный переход к круглому входному отверстию вентилятора. Для стока конденсирующейся воды канал выполняется с уклоном к стволу.

В подводящем канале предусматривается люк или тамбур для доступа в канал и люк или проем для монтажа и обслуживания трансмиссионного вала, зубчатой муфты и переднего подшипника вентилятора. Перед крупными осевыми вентиляторами устанавливается трап удобообтекаемой формы для удобства доступа к вентилятору через люк канала. На шахтах с большим содержанием пыли в исходящей струе воздуха подводящий канал оборудуется устройствами для очистки скопляющейся в нем пыли. В подводящем канале устраивается замерная станция для измерения производительности вентилятора и депрессии. Замерная станция (рис. 1.2) вентиляторной установки из двух вентиля-

торов должна состоять из трех трубок статического давления, расходомера и депрессиометра.

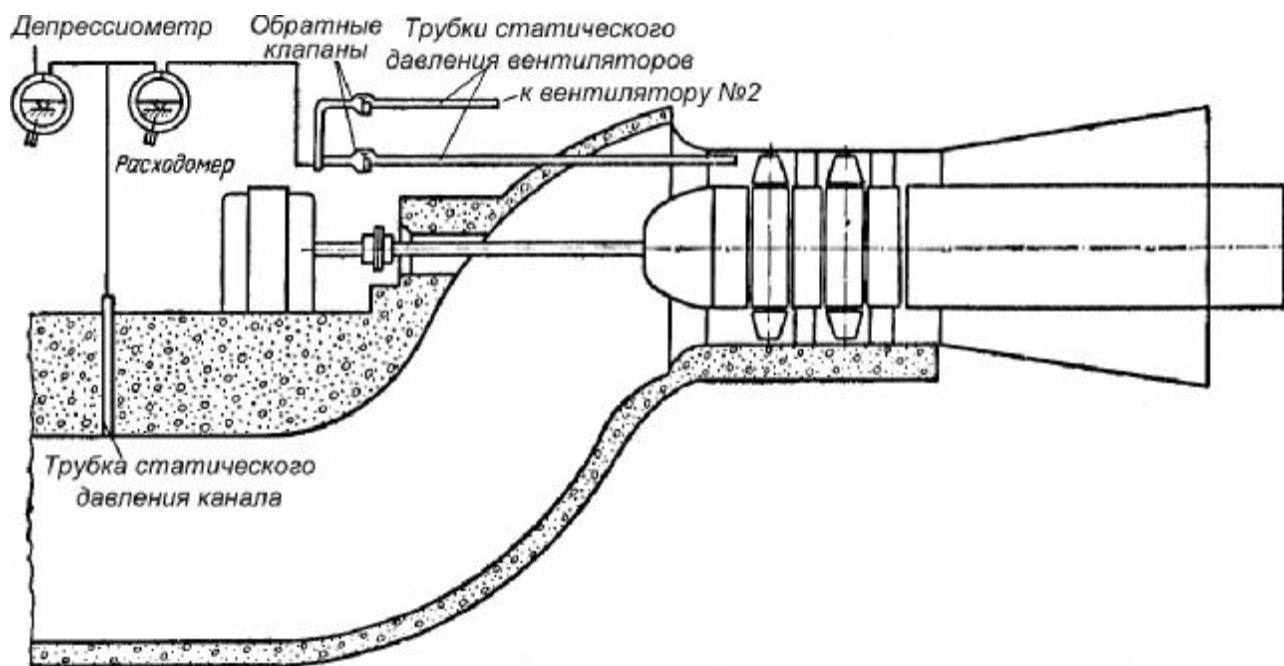


Рис. 1.2. Замерная станция

Обводной канал предназначен для реверсирования воздушной струи, он соединяет выходную часть диффузора с подводящим каналом. Установка может иметь один или два обводных канала. Сечение обводного канала прямоугольное. Реверсивные вентиляторы типа ВОКР не имеют обводных каналов.

Стены и днища подводящих и обводных каналов выкладываются из бутобетона, перекрытия каналов из монолитного железобетона. Стены каналов изнутри штукатурятся сложным раствором с цементной затиркой. Поверхности стен должны быть гладкими. Применяются также конструкции каналов из сборного железобетона, в которых стены и днища сооружаются из сборных железобетонных плит, а перекрытия из монолитного железобетона.

### **Здания**

Здания вентиляторов должны иметь постоянное и независимое резервное освещение, содержаться в чистоте и порядке. Запрещается использование этих зданий для каких-либо других целей. В здании должен быть установлен телефон и шумоизолированная кабина с выведенным сигнальным вызывным устройством и связанный непосредственно с центральным коммутатором шахты на поверхности.

При нагнетательном проветривании должны приниматься меры, предупреждающие засасывание вентилятором дыма отопительных устройств.

При фланговом расположении вентиляторов и всасывающем проветривании допускается печное отопление здания вентилятора, за исключением шахт, опасных по выбросам угля и сульфурным выделениям метана.

Здания вентиляторных установок состоят из двух помещений – машинного зала и всасывающей будки.

Во всасывающей будке располагаются ляды для реверсирования воздушной струи. Будка выполняется одно- или двухэтажной (в зависимости от схемы реверсивных устройств) и имеет на боковых стенах жалюзийные решетки для забора свежего воздуха при реверсировании воздушной струи. В реверсивных вентиляторах типа ВОКР всасывающая будка отсутствует.

В машинном зале устанавливаются приводные электродвигатели вентиляторов, пуско-регулирующая аппаратура, лебедки для реверсирования воздушной струи, маслостанция для циркуляционной смазки (в тех вентиляторах, где она применяется), телефонная кабина и т. п.

В холодных районах страны машинный зал сооружается также и над собственно вентиляторами, предохраняя их от обмерзания и атмосферных осадков. В теплых районах вентиляторы ВУПД всех размеров, а также ВОК и ВОКД диаметром до 1,8 м включительно устанавливаются на открытых площадках, вне здания. Более крупные вентиляторы (ВОКД2,4–3,6; ВЦ4; ВЦ5; ВЦД-2,2; ВЦД-3,3; ВЦО 2,5–4,1), в которых применена жидкостная смазка подшипников и имеются направляющие аппараты с приводными механизмами, устанавливаются в здании или в специальных укрытиях, защищающих ответственные узлы от атмосферных осадков. В настоящее время существуют крупные вентиляторные установки открытого типа (ВЦ-5, ВЦО-4,1).

#### ***Устройства для реверсирования воздушной струи***

Главные вентиляторные установки должны быть оборудованы реверсивными устройствами, позволяющими производить не более чем за 10 мин изменение направления движения вентиляционной струи, поступающей в выработки, причем при реверсировании вентилятор должен давать не менее 60% своей нормальной производительности. В отдельных случаях, с разрешения главного инженера объединения или отраслевого управления допускается реверсирование воздушной струи, при котором производительность вентилятора будет ниже 60% нормальной, если только содержание метана на общей исходящей струе после реверсирования будет не выше 1%. Вспомогательные вентиляторные установки, в которых по плану ликвидации аварии предусмотрена необходимость опрокидывания воздушной струи, также должны быть снабжены реверсивными устройствами. Исправность действия реверсивных устройств должна проверяться главным механиком шахты и начальником вентиляции не реже одного раза в месяц.

Для вновь проектируемых и строящихся вентиляторных установок применяются различные схемы реверсивных устройств (рис. 1.3).

Возможны три положения ляд.

1. При работе вентилятора на всасывание все три ляды закрыты и прилегают к своим рамам. Исходящая струя воздуха поступает к вентилятору через подводный канал и выходит в атмосферу через диффузор и выходное колено.

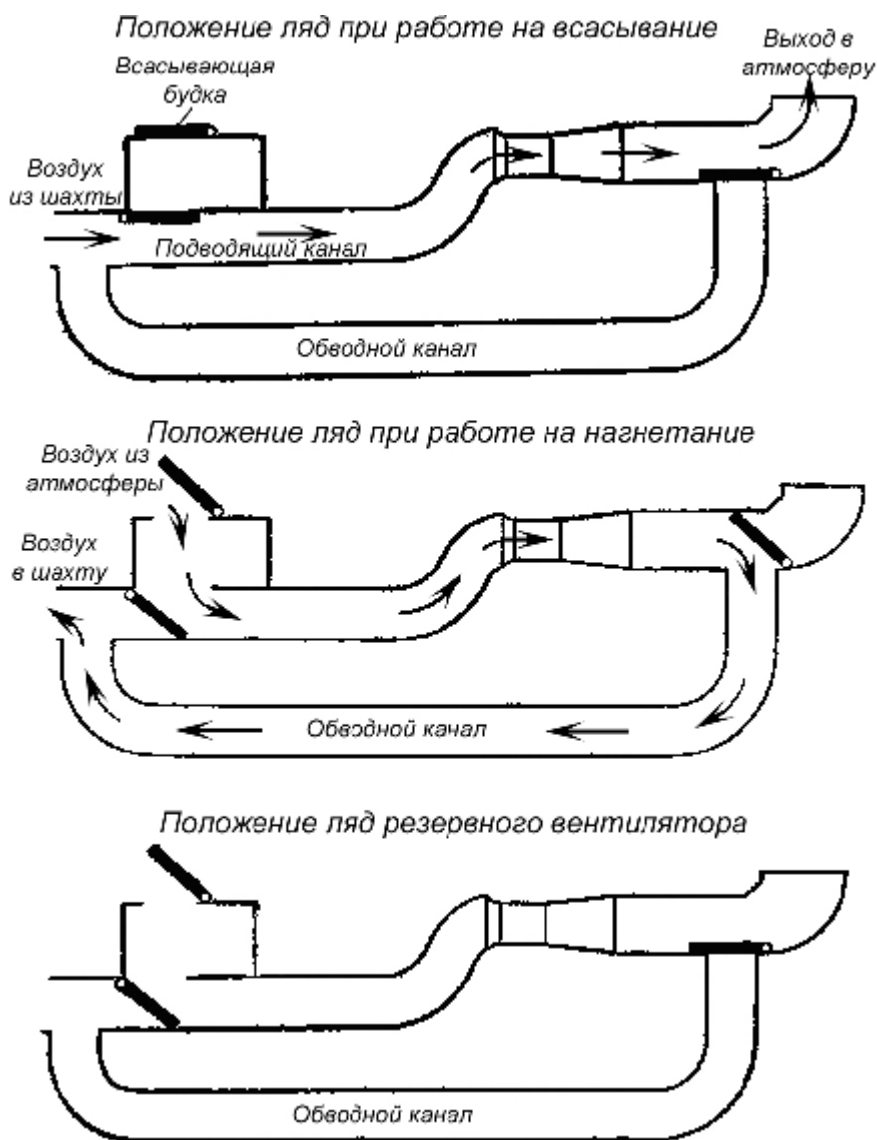


Рис. 1.3. Схемы реверсирования вентиляционных установок

2. При работе вентилятора на нагнетание верхняя лядя всасывающей будки и лядя диффузора подняты, а нижняя лядя будки опущена. Воздух из атмосферы через всасывающую будку поступает к вентилятору и нагнетается через диффузор и обводной канал в шахту.

3. Когда вентилятор находится в резерве, верхняя лядя всасывающей будки поднята, а нижняя лядя и лядя диффузора опущены.

Все ляды самоуплотняются.

#### **Устройства для борьбы с шумом вентиляторов**

Работа шахтных осевых вентиляторов сопровождается шумом, уровень громкости которого достигает 110 – 125 дБ при частоте 150 – 400 гц. Шум является серьезной помехой для лиц, работающих на поверхности шахты, и для населения близлежащих районов. Причиной возникновения шума служат воздушные вихри, образующиеся при обтекании потоком лопаточных венцов вентилятора. Периодический срыв вихрей возбуждает в воздушном потоке пульсации, которые служат источником возникновения акустических волн. На образование шума

влияет также неоднородность потока при входе в колесо вентилятора, вызванная наличием стоек подшипников, направляющих аппаратов и других препятствий. К аэродинамическому шуму добавляется шум механический, образуемый подшипниками, электродвигателями, а также плохо отбалансированными роторами. В наружное пространство шум передается через выходное отверстие вентилятора и через металлические и бетонные стенки вентиляторной установки.

Снижение или устранение шума вентиляторных установок может быть достигнуто:

- а) установкой на действующих и вновь строящихся осевых вентиляторах глушителей шума;
- б) эксплуатацией осевых вентиляторов при низких окружных скоростях (не более 80 м/сек);
- в) применением центробежных вентиляторов на вновь строящихся шахтах с высокими депрессиями (более 250–300 даПа);
- г) заменой наиболее шумных осевых вентиляторов, расположенных в крупных населенных пунктах, бесшумными центробежными.

Сооружение осевых вентиляторов без специальных приспособлений для глушения шума допускается при их расположении вдали от населенных пунктов и работе с окружной скоростью менее 80 м/сек или при депрессии менее 100 даПа. В остальных случаях вентиляторы должны оснащаться глушителями шума. Глушитель устанавливается в выходной части вентилятора за диффузором (рис. 1.4).

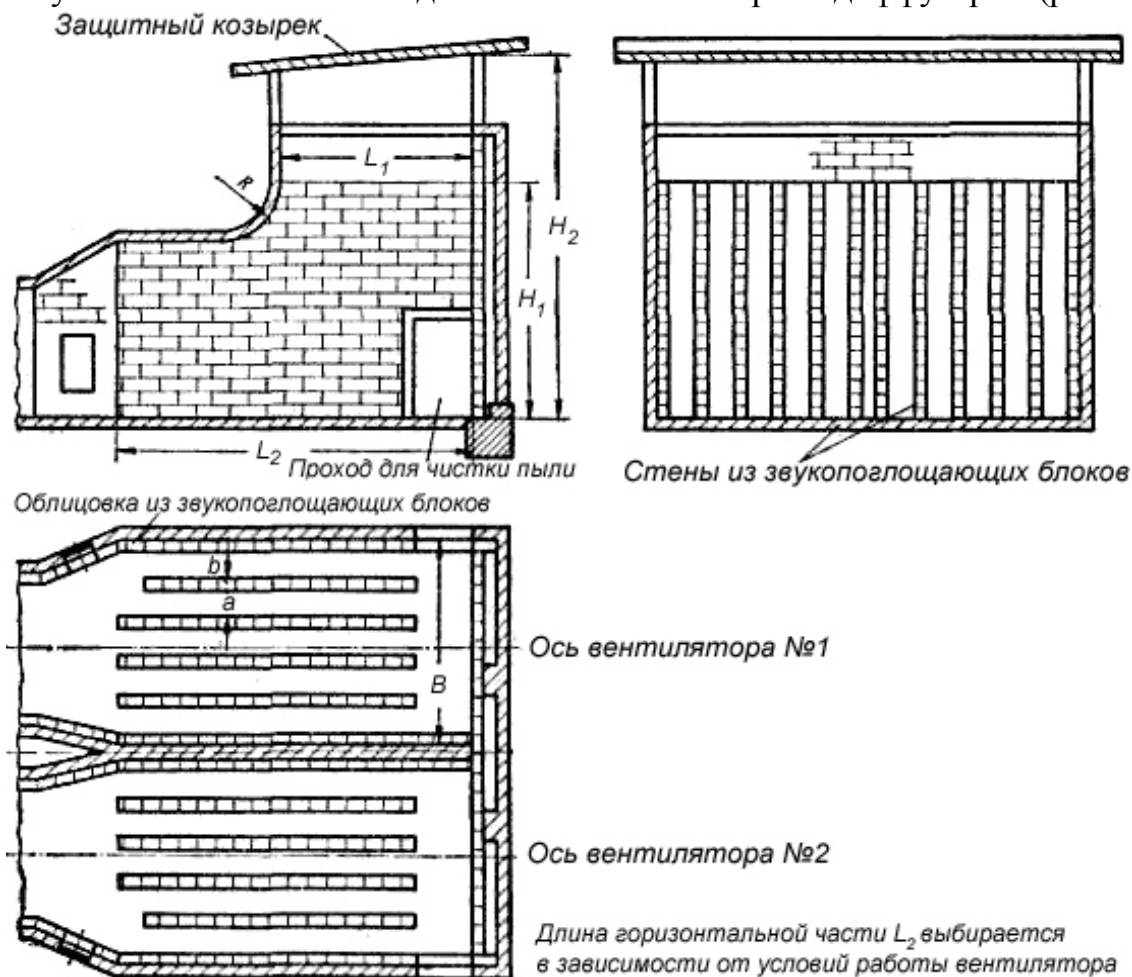


Рис. 1.4. Глушитель шума шахтного осевого вентилятора.

### **1.3. Назначение, аэродинамические характеристики и особенности шахтных вентиляторов**

#### **1.3.1. Назначение и типы вентиляторов, применяемых в горной промышленности.**

В горной промышленности для проветривания подземных выработок и поверхностных сооружений применяются вентиляторы главного проветривания (главные и вспомогательные), вентиляторы частичного проветривания и вентиляторы общего назначения (сантехнические).

Вентиляторы главного проветривания обеспечивают подачу воздуха всей шахте (главные вентиляторы) или отдельному ее крылу (вспомогательные вентиляторы). Они располагаются на поверхности земли у устья герметически закрытых стволов или шурфов и действуют непрерывно. Вентиляторы главного проветривания являются стационарным' электромеханическим оборудованием шахт. Для их установки сооружаются фундаменты, здания и воздухоподводящие каналы. На газовых шахтах вентиляторы должны работать на всасывание. Работа нагнетанием допускается на негасовых шахтах и при разработке первых горизонтов шахт I и II категории по газу. Главные вентиляторные установки должны оборудоваться реверсивными устройствами для изменения направления движения воздушной струи, поступающей в подземные выработки шахт. Для привода вентиляторов главного проветривания применяются синхронные и асинхронные электродвигатели с фазовым и короткозамкнутым ротором.

К вспомогательным вентиляторам относятся также подземные вентиляторы, обслуживающие один или несколько эксплуатационных участков или блоков, периодически переносимые по мере подвигания горных работ. Широкое распространение такие вентиляторы получили на железорудных шахтах Криворожского бассейна и других районов (блоковые вентиляторы). Установка подземных вспомогательных вентиляторов на угольных и сланцевых шахтах допускается только с разрешения Госгорпромнадзора.

Вентиляторы частичного проветривания служат для проветривания тупиковых горных выработок как правило нагнетанием свежего воздуха по вентиляционным трубам и характеризуются малыми размерами, отсутствием специальных фундаментов и сооружений. Привод вентиляторов электрический, пневматический или гидравлический. Исполнение взрывобезопасное или нормальное. Разновидностью вентиляторов частичного проветривания являются проходческие вентиляторы, предназначенные для проветривания забоев стволов и околоствольных выработок. Они устанавливаются на поверхности земли и нагнетают по трубам свежий воздух в забои.

Вентиляторы общего назначения (сантехнические) применяются для перемещения воздуха в системах приточно-вытяжной вентиляции производственных (обогажительных фабрик и др.) и жилых помещений, и котельных агрегатах, калориферных установках, системах пневмотранспорта и др.

По принципу действия шахтные вентиляторы делятся на центробежные и осевые.

Центробежный вентилятор (рис. 1.5) состоит из рабочего колеса 1, спирального кожуха 2, направляющего аппарата 3, входного патрубка 4, диффузора 5 с выходным коленом 6.

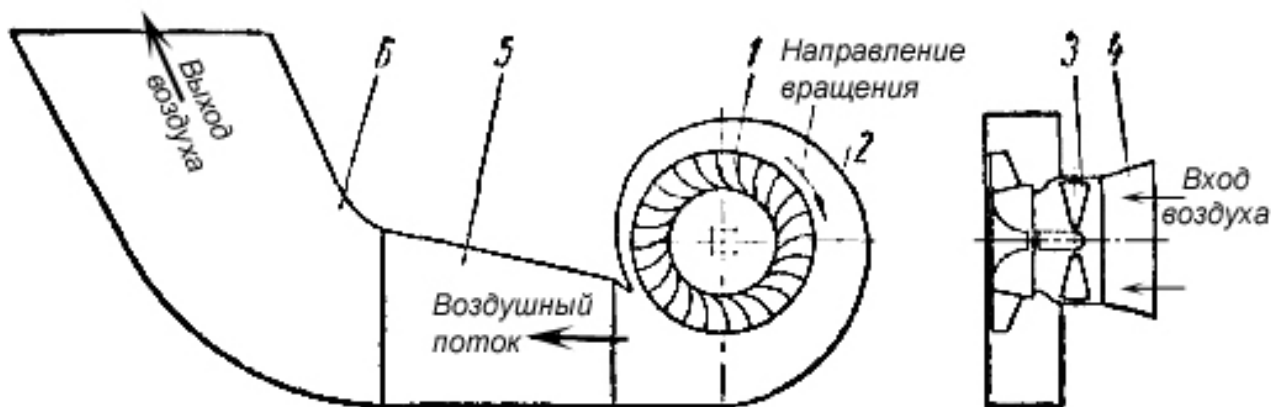


Рис. 1.5. Шахтный центробежный вентилятор

Воздушный поток поступает к рабочему колесу вентилятора через входной патрубок и направляющий аппарат. В колесе поток поворачивает на  $90^\circ$  из осевого в радиальное направление и под действием центробежной силы и динамического давления лопаток выбрасывается в спиральный кожух, откуда поступает в нагнетательный трубопровод или через диффузор и колено в атмосферу. Установленный перед рабочим колесом направляющий аппарат с поворотными лопатками служит для регулирования производительности.

Центробежные вентиляторы выполняются одно- или двустороннего всасывания. Их рабочие колеса имеют от 6 до 64 лопаток, загнутых вперед, назад или радиальных. Кожухи вентиляторов спиральные, как правило, постоянной ширины, с радиальным диффузором или без него.

Осевой вентилятор (рис. 1.6) состоит из рабочего колеса 1 с профилированными лопатками 2, кожуха 3, коллектора 4, переднего обтекателя (кока) 5, спрямляющего аппарата 6, диффузора 7, вала и подшипников. Рабочим органом вентилятора служит ротор, приводимый во вращение электродвигателем и состоящий из колеса, вала и подшипников. При вращении ротора, в результате воздействия лопаток рабочего колеса на воздушный поток, перед колесом образуется разрежение, а за колесом – давление. В зону разрежения из канала поступает воздушный поток, который колесом перемещается вдоль оси вентилятора к диффузору или к нагнетательному трубопроводу.

Перед рабочим колесом установлен направляющий аппарат, предварительно подкручивающий воздушный поток, за рабочим колесом – спрямляющий аппарат, предназначенный для выпрямления воздушного потока. Направляющий и спрямляющий аппараты способствуют образованию устойчивого воздушного потока в вентиляторе и повышению давления.

Осевые вентиляторы низкого давления имеют одно рабочее колесо (одноступенчатые). Для повышения давления число рабочих колес увеличивается до двух и в редких случаях до трех и четырех (многоступенчатые вентиляторы).



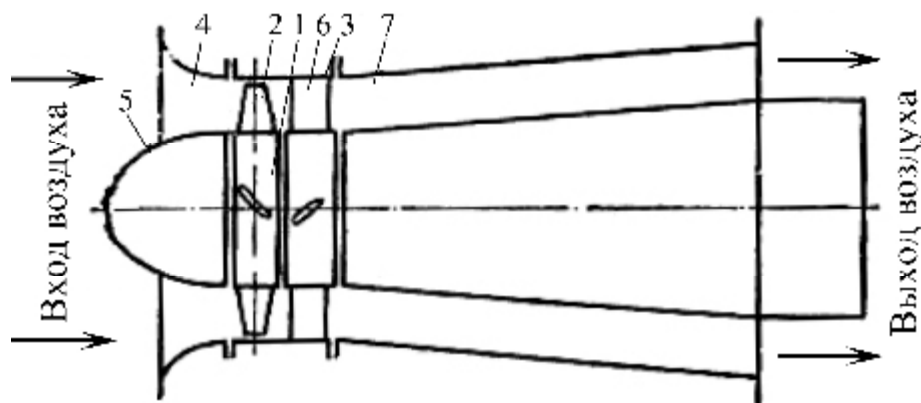


Рис. 1.6. Шахтный осевой вентилятор

Рабочие колеса шахтных осевых вентиляторов имеют число лопаток от 8 до 20. Относительные диаметры их втулок составляют 0,3–0,7 диаметра рабочего колеса. Зазоры между лопатками колес и кожухом не должны превышать 1,5% длины лопаток.

Регулирование производительности осевых вентиляторов производится изменением углов установки лопаток рабочих колес и углов установки закрылков лопаток направляющих аппаратов.

По развиваемому давлению различают вентиляторы:

1. Низкого давления, развивающие давление до 100 даПа.
2. Среднего давления, развивающие давление до 200–300 даПа.
3. Высокого давления, развивающие давление более 300 даПа.

### 1.3.2. Характеристики вентиляторов

#### *Размерные характеристики*

Аэродинамическая характеристика вентилятора представляет собой диаграмму, на которой графически изображена зависимость создаваемого вентилятором давления  $H$ , потребляемой мощности  $N$  и коэффициента полезного действия  $\eta$  от производительности вентилятора  $Q$  при заданной скорости вращения  $n$  и при определенных углах установки лопаток рабочих колес и направляющих аппаратов. Характеристика строится по результатам модельных или натурных испытаний вентиляторов, проведенных в лаборатории, на стенде или непосредственно на шахте.

На характеристике в координатах  $Q - H$ ,  $Q - N$  и  $Q - \eta$  наносятся следующие величины (рис. 1.7):

1. Производительность  $Q$  - количество воздуха, подаваемое вентилятором в единицу времени, м<sup>3</sup>/сек, м<sup>3</sup>/мин, м<sup>3</sup>/ч.
2. Полное давление  $H$ , равное сумме статического и динамического давлений и характеризующее приращение энергии в одном кубометре воздуха при прохождении его через вентилятор, даПа.
3. Статическое давление  $H_{ст}$  - давление воздуха на стенки выработок или трубопроводов, расходуемое на преодоление сопротивления движению воздуха в вентиляционной сети, даПа.

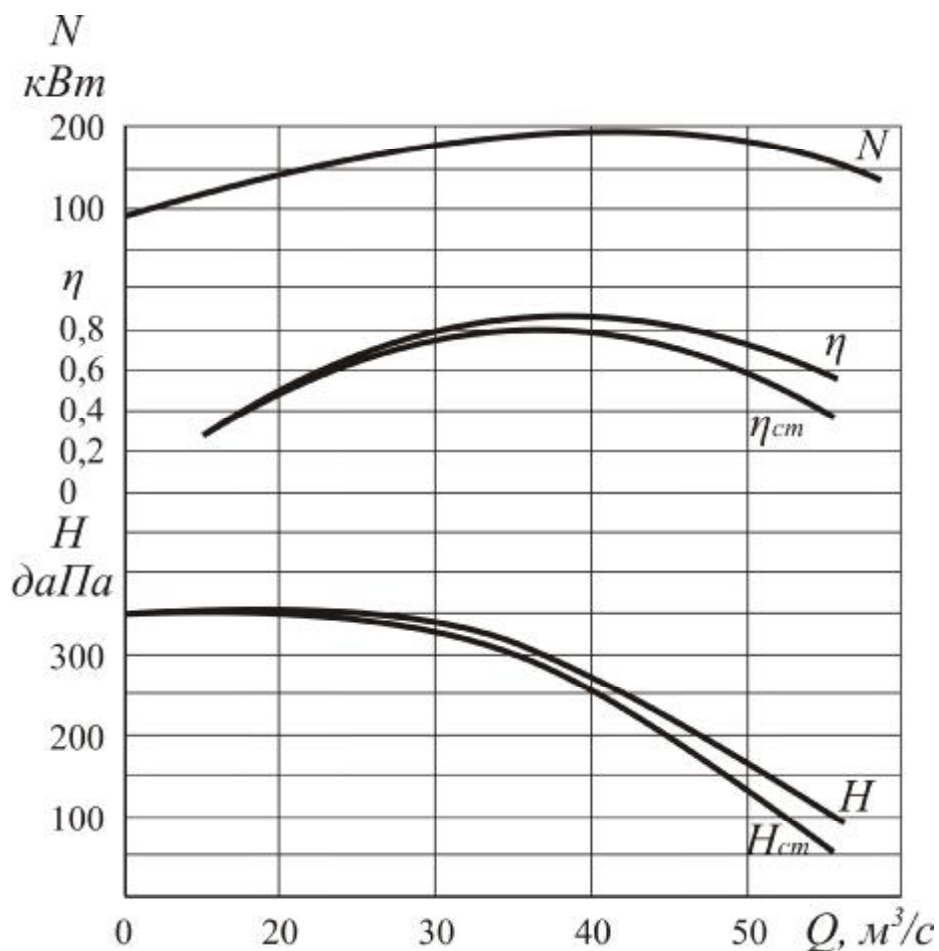


Рис. 1.7. Характеристика вентилятора.

4. Мощность на валу вентилятора  $N$ , определяемая по формулам:

$$N = \frac{QH}{102\eta}, \text{ кВт}$$

или

$$N = \frac{QH}{102\eta_{ст}}, \text{ кВт}$$

5. Коэффициент полезного действия полный  $\eta$ , определяемый по полному давлению,

$$\eta = \frac{QH}{102N}$$

6. Коэффициент полезного действия статический  $\eta_{ст}$  определяемый по статическому давлению,

$$\eta_{ст} = \frac{QH_{ст}}{102N}$$

На характеристиках вентиляторов главного проветривания обычно ограничиваются кривыми  $Q - H_{ст}$ ,  $Q - N$  и  $Q - \eta_{ст}$ . На характеристиках вентиляторов местного проветривания и общего назначения строят только кривые  $Q - H$ ,  $Q - N$  и  $Q - \eta$ . Характеристики приводятся к номинальному числу оборотов вентилятора, к температуре воздуха  $20^\circ\text{C}$ , к барометрическому давлению  $101,3$  кПа и к нормальной плотности воздуха

$$\rho = 1,22 \text{ кг/м}^3.$$

Влиянием влажности на плотность шахтного воздуха при температуре порядка 20–30°С пренебрегают ввиду его незначительности.

### **Безразмерные характеристики**

В ряде случаев удобно пользоваться безразмерными характеристиками, которые отражают свойства всей серии вентиляторов данного типа, вне зависимости от диаметра рабочего колеса и скорости вращения.

Для построения безразмерных характеристик определяются следующие коэффициенты:

1. Коэффициент производительности

$$\bar{Q} = \frac{Q}{Fu} = \frac{Q}{k_Q}.$$

2. Коэффициент полного давления

$$\bar{H} = \frac{H}{\rho u^2} = \frac{H}{k_H}.$$

### **1.3.3. Регулировочные графики и зоны промышленного использования вентиляторов**

Вентиляторы главного проветривания регулируются путем изменения углов установки лопаток рабочих колес или лопаток направляющих аппаратов. Каждому углу установки лопаток соответствуют определенные кривые  $Q - H_{ст}$ ,  $Q - N$  и  $Q - \eta_{ст}$ . Совокупность этих кривых представляет регулировочный график вентилятора (рис. 1.8), на котором наносятся кривые для всех рекомендованных углов установки лопаток данного вентилятора. На регулировочных графиках осевых вентиляторов кривые строятся для углов установки лопаток рабочих колес, отличающихся на 5°, в пределах 15–40 или 15–45°, т. е. 15, 20, 25, 30, 35, 40 и 45°. На регулировочных графиках центробежных вентиляторов кривые строятся для углов установки лопаток направляющих аппаратов, отличающихся на 10°, начиная с угла 0° или 10° и кончая углом 60–70°.

Из регулировочного графика выделяется зона промышленного использования вентилятора  $ABCD$  (рис. 1.9), называемая также зоной экономичной работы.

Нижняя граница зоны – линия  $CD$  – строится из условия экономичной работы вентилятора и соответствует статическому к. п. д.  $\eta_{ст} = 0,6$ . Она проводится через точки напорных кривых для различных углов установки лопаток, соответствующие  $\eta_{ст} = 0,6$ . Все режимы работы вентилятора, лежащие ниже этой линии, не рекомендуются к эксплуатации как неэкономичные.

Боковые границы зоны – линии  $AC$  и  $BD$  соответствуют предельным углам установки лопаток рабочих колес, рекомендованным для данного вентилятора (минимальный угол 10–15°, максимальный 40–45° в зависимости от конструктивного исполнения вентилятора).

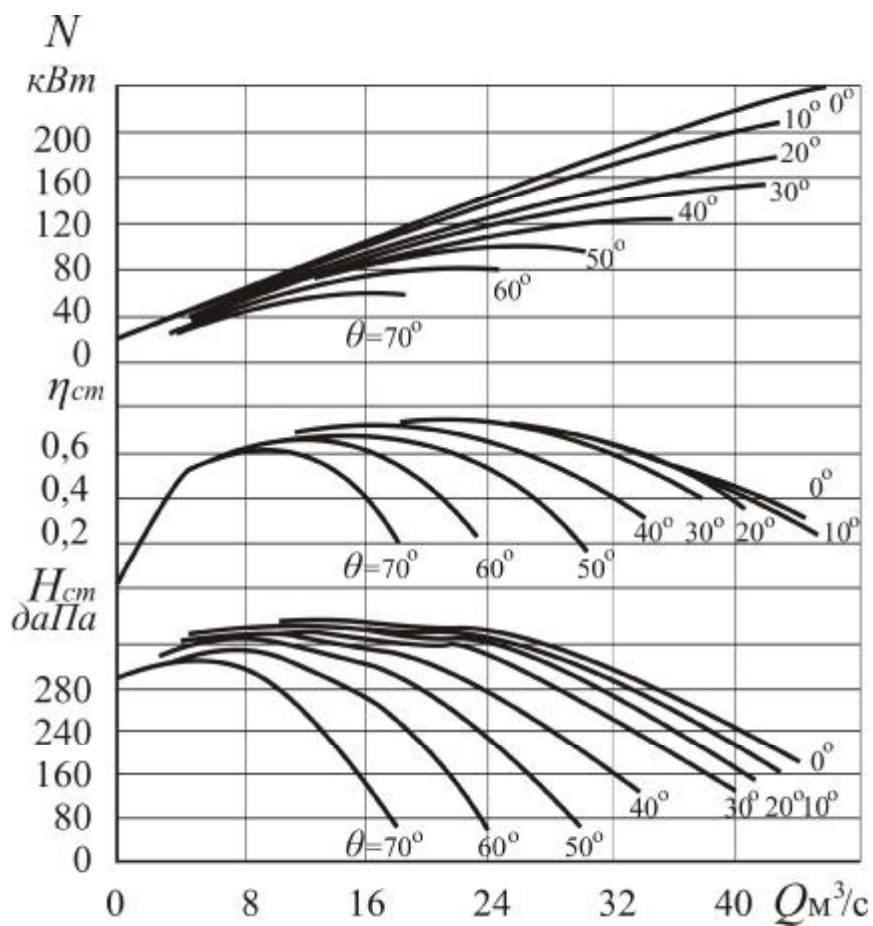


Рис. 1.8. Регулировочный график центробежного вентилятора.

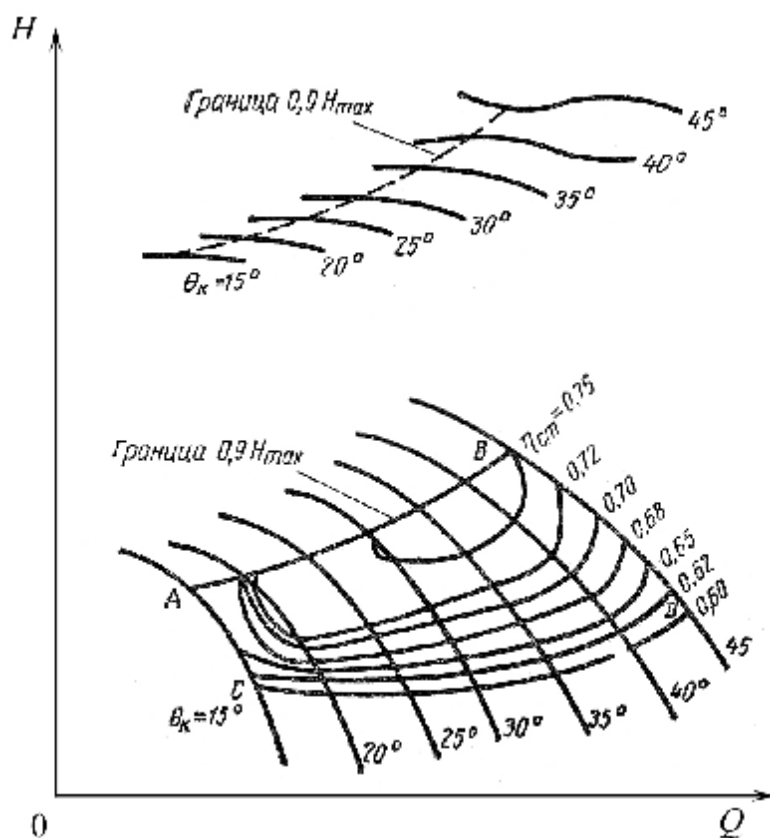


Рис. 1.9. Зона промышленного использования вентилятора.

Верхняя граница зоны – линия  $AB$  – строится из условия обеспечения устойчивой работы вентилятора при возможных изменениях шахтной вентиляционной сети. Рекомендуется верхнюю границу строить по запасу давления 50%, т. е. так, чтобы была гарантирована устойчивая работа вентиляторов при увеличении сопротивления шахтной вентиляционной сети до 50% от расчетной величины. В центробежных вентиляторах, где срывы характеристик, как правило, не наблюдаются, зона промышленного использования ограничивается двумя линиями – линией статического к. п. д. 0,6 (нижняя граница) и кривой давления при предельном угле открытия лопаток направляющего аппарата (верхняя граница). В пределах зоны промышленного использования строится несколько линий равных статических к. п. д. (0,62; 0,65; 0,7 и т. д.), что позволяет оценивать экономичность режимов работы вентилятора.

Регулировочными графиками пользуются при выборе вентиляторов и определении режимов их работы.

#### 1.3.4. Работа вентилятора в шахтной вентиляционной сети.

Режим работы вентилятора в шахтной вентиляционной сети определяется наложением характеристик сети и вентилятора, построенных в одинаковом масштабе (рис. 1.10).

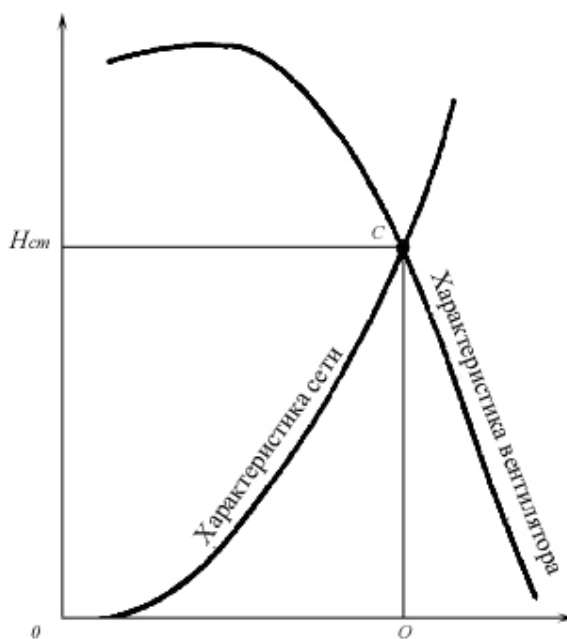


Рис. 1.10. Работа вентилятора в шахтной вентиляционной сети.

Графически зависимость сопротивления шахтной вентиляционной сети от расхода воздуха изображается в виде квадратичной параболы, проходящей через начало координат. Точка пересечения кривой сопротивления шахтной сети с характеристикой вентилятора определяет режим работы вентилятора на данную сеть, т. е. его производительность  $Q$  и давление  $H$ . При действии естественной тяги, присущей шахтным вентиляционным сетям, кривая сопротивления смещается относительно начала координат (рис. 1.11). Положительная естественная тяга  $+ H_{ст.}$ , совпадающая по направлению действия с вентиляционной

струи, создаваемой вентилятором, уменьшает сопротивление сети, в результате чего кривая сопротивления  $OC$  опускается параллельно оси ординат на величину  $h_{см}$ . Рабочая точка вентилятора перемещается в  $C_1$ , при этом производительность вентилятора возрастает с  $Q$  до  $Q_1$ .

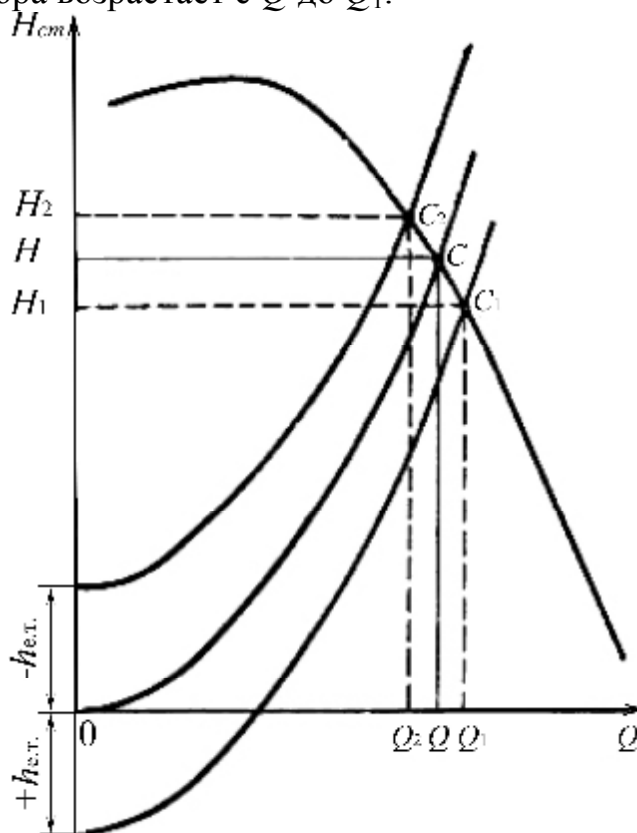


Рис. 1.11. Влияние естественной тяги на работу вентилятора.

Отрицательная естественная тяга, действующая против направления движения воздушной струи, создаваемой вентилятором, увеличивает сопротивление сети, в результате чего кривая  $OC$  поднимается на величину  $-h_{см}$ . Рабочая точка вентилятора перемещается в  $C_2$ , при этом производительность вентилятора уменьшается с  $Q$  до  $Q_2$ .

На работу вентиляторов в шахтной вентиляционной сети оказывают влияние подсосы воздуха из атмосферы (при работе на всасывание) или утечки воздуха в атмосферу (при работе на нагнетание), вызванные неплотностью надшахтных зданий, шлюзов, ляд и т. п. Подсосы и утечки увеличивают мощность, потребляемую вентилятором, и снижают количество воздуха, подаваемого в шахту.

### 1.3.5. Регулирование производительности вентиляторов

В связи с продвижением горных работ, проведением новых и ликвидацией старых выработок, углубкой шахт, действием естественной тяги и т. п. сопротивление шахтной вентиляционной сети меняется. Для поддержания в сети подачи заданного количества воздуха при переменном сопротивлении сети производительность вентиляторов необходимо регулировать. Для восстановления

подачи первоначального количества воздуха при новом сопротивлении сети требуется изменить характеристику вентилятора так, чтобы рабочая точка соответствовала требуемой производительности (рис. 1.12).

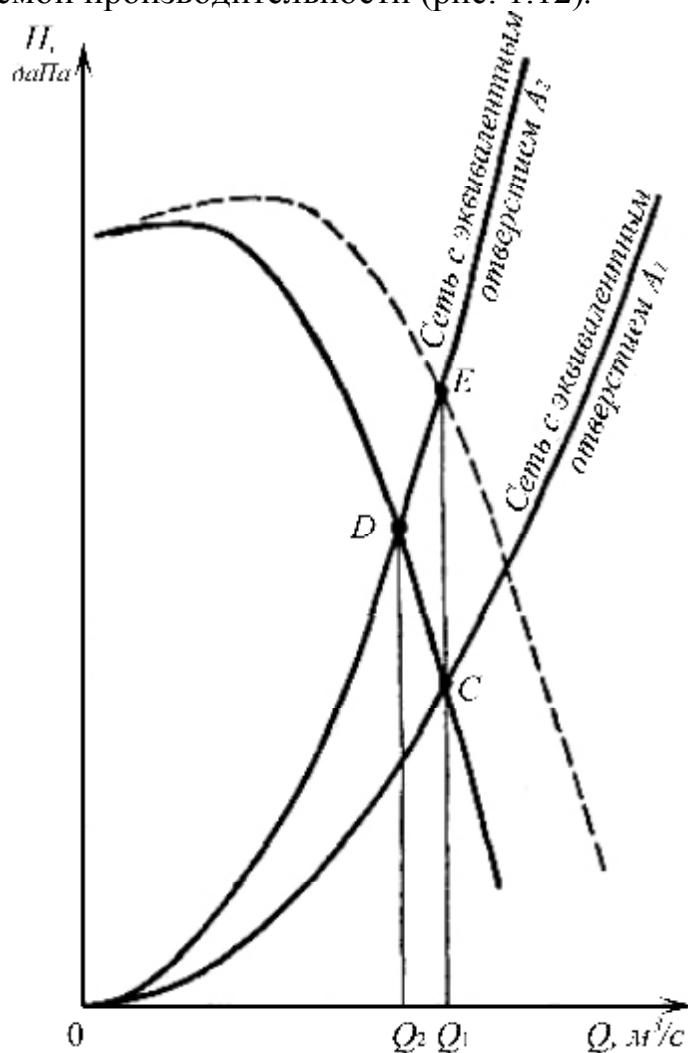


Рис. 1.12. Регулирование производительности вентилятора

Характеристика вентилятора может быть изменена путем регулирования.

Известен ряд способов регулирования производительности вентиляторов:

- а) изменением угла установки лопаток рабочих колес;
- б) изменением угла установки лопаток или закрылков лопаток направляющих аппаратов;
- в) изменением скорости вращения вентилятора;
- г) дросселированием вентилятора с помощью задвижки;
- д) уменьшением числа ступеней;
- е) снятием части лопаток рабочих колес и др.

Современные шахтные осевые вентиляторы главного проветривания регулируются изменением угла установки лопаток рабочих колес в пределах 10 - 45°. Каждый угол установки лопаток обеспечивает получение новой характеристики давления вентилятора и новой кривой мощности. Изменение углов установки может быть плавным, бесступенчатым (вентиляторы до диаметра 2,4 м) или ступенчатым, с установкой лопаток в нескольких фиксированных положениях (вентиляторы диаметром более 2,4 м). Поворот лопаток рабочих колес

производится вручную во время остановки вентилятора или при помощи механизма для одновременного поворота лопаток рабочих колес. Глубина регулирования осевых вентиляторов по давлению составляет в пределах зоны промышленного использования что, как правило, обеспечивает потребный шахтам диапазон регулирования.

В осевых вентиляторах больших диаметров (2,4 м и более) применяется комбинированное регулирование:

а) поворотом лопаток рабочих колес и

б) изменением угла установки лопаток направляющего аппарата или их закрылков.

Изменяя угол установки лопаток направляющего аппарата, меняют направление воздушного потока при входе в колесо и тем самым влияют на характеристику вентилятора. Подкрутка потока в сторону вращения колеса (рис. 1.13) понижает создаваемое давление и потребляемую мощность (регулирование «вниз»), а подкрутка против направления вращения повышает развиваемое давление и увеличивает расходуемую мощность (регулирование «вверх»).

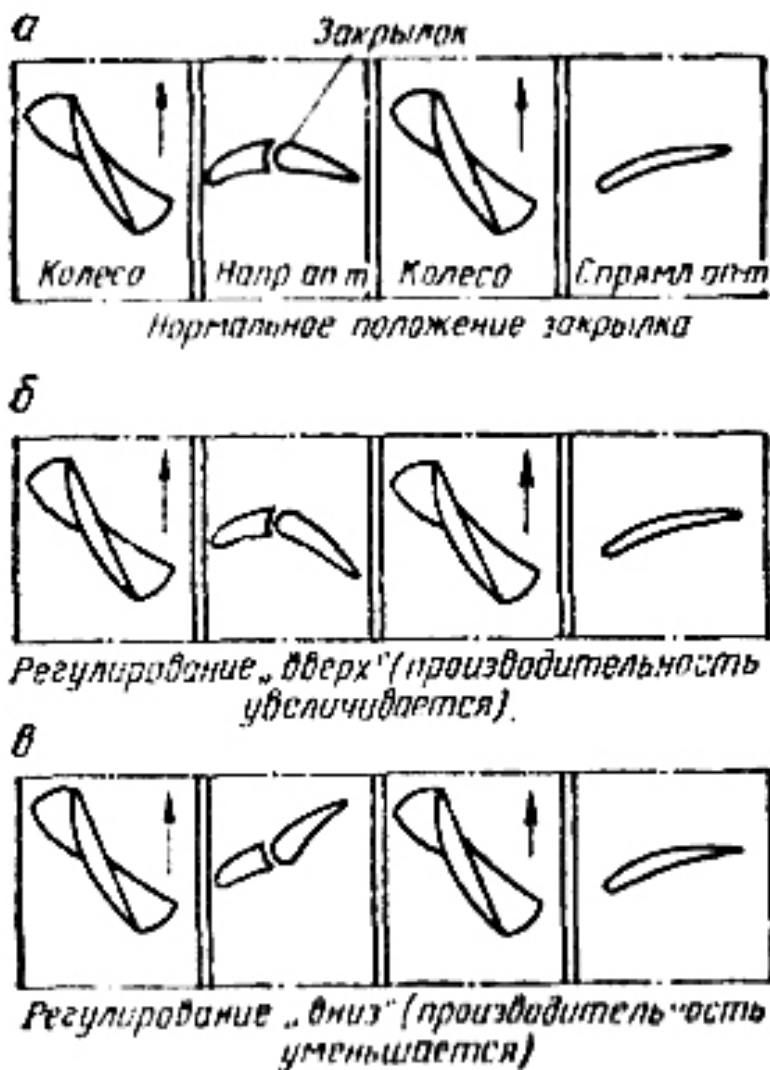


Рис. 1.13. Регулирование осевого вентилятора закрылками лопаток направляющего аппарата



Изменение угла установки лопаток направляющего аппарата или их закрылков обеспечивает возможность тонкого регулирования осевых вентиляторов на ходу, в дополнение к более грубому регулированию поворотом лопаток рабочих колес. Поворот лопаток или закрылков осуществляется одновременно с помощью специального механизма.

Шахтные центробежные вентиляторы регулируются изменением угла установки лопаток направляющего аппарата (рис. 1.14), который осуществляет подкрутку проходящего через него воздуха в направлении вращения колеса. Чем больше угол установки лопаток, тем больше подкрутка воздуха и тем меньше давление и потребляемая мощность вентилятора. Углы установки лопаток меняются в пределах от 0 до 90° (угол 90° соответствует полностью закрытому направляющему аппарату), выбор необходимого угла установки лопаток производится по регулировочному графику в зависимости от потребного количества воздуха и сопротивления шахтной вентиляционной сети. Для одновременного поворота лопаток служит специальный механизм с дистанционным управлением.

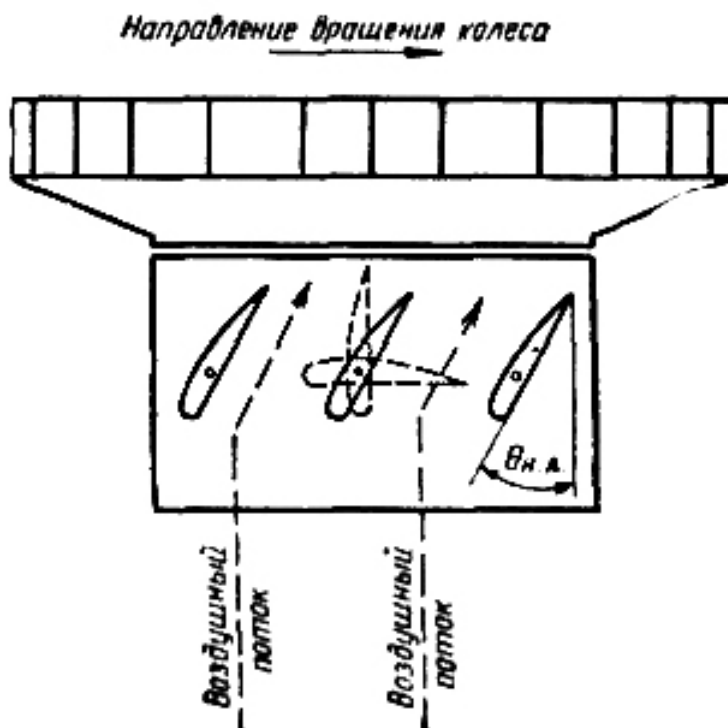


Рис. 1.14. Регулирование центробежного вентилятора лопатками направляющего аппарата

Направляющий аппарат обеспечивает глубину регулирования центробежного вентилятора по давлению

$$\Delta H = 1 - \frac{H_{ст.мин}}{H_{ст.маx}} = 0,3...0,5,$$

что не всегда удовлетворяет потребности шахт и в ряде случаев вызывает необходимость дополнительного регулирования изменением скорости вращения.

Регулирование производительности вентиляторов изменением скорости вращения применяется как в осевых, так и в центробежных вентиляторах. Оно может достигаться заменой приводного электродвигателя двигателем с ближайшей большей или меньшей скоростью вращения или применением передач – зубчатой, ременной, гидравлической и др. В отечественных вентиляторах применяется однократная замена электродвигателя в течение срока службы вентилятора. В сочетании с другими способами регулирования она обеспечивает необходимую глубину регулирования по давлению. Применение различных передач для регулирования скорости вращения не получило распространения из-за потерь, дополнительной стоимости и недостаточной надежности. В зарубежных вентиляторах некоторых фирм применяются регулируемые клиноременные передачи и зубчатые редукторы со сменными шестернями. Регулирование производительности вентиляторов дросселированием неэкономично и применяется только в вентиляторах частичного проветривания и общего назначения. Потери, связанные с этим способом регулирования, достигают 30%. Другие способы регулирования (снятие части лопаток, изменение числа ступеней и т. п.) применяются редко ввиду сложности осуществления и недостаточной точности.

## РАЗДЕЛ 2. СПОСОБЫ И СХЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ И РУДНИКОВ

### 2.1. Способы проветривания шахт и рудников

В зависимости от того, каким образом обеспечивается необходимый перепад давлений воздуха на пути его движения по шахтной вентиляционной сети, различают нагнетательный, всасывающий и комбинированный способы проветривания.

Нагнетательный способ проветривания состоит в том, что перепад давлений в шахте создается путем повышения давления воздуха вентилятором в воздухоподающем стволе (рис. 2.1).

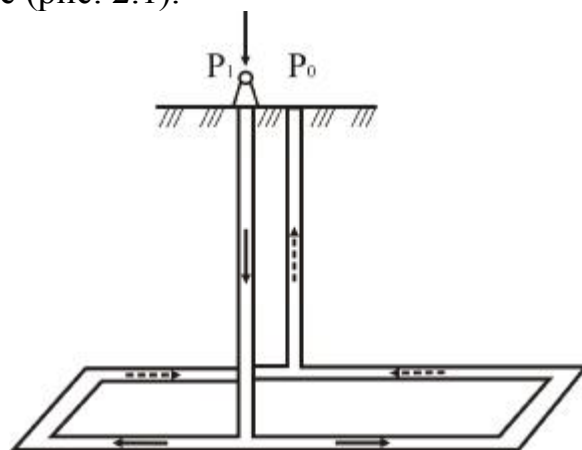


Рис. 2.1. Нагнетательный способ проветривания

В воздухоподающем стволе (устье) давление  $P_1$  выше атмосферного, а в воздуховыдающем стволе  $P_0$ , оно остается равным атмосферному. Таким образом, в выработках шахты создается перепад давления представляющий собой депрессию шахты, которая определяется по формуле

$$h = P_1 - P_0$$

Достоинства нагнетательного способа:

- применение одной вентиляционной установки;
- надежность подачи электроэнергии на один вентилятор;
- через вентиляционную установку проходит чистый воздух;
- отсутствие подсосов воздуха через обрушенные породы.

Недостатки нагнетательного способа:

- необходимость устройства герметичного надшахтного здания у воздухоподающего ствола;
- необходимость установки мощного главного вентилятора с большим диапазоном регулирования расхода воздуха и депрессии;
- возможность загазования выработок и возникновения взрывоопасной среды при аварийной остановке вентилятора в газовых шахтах.

Всасывающий способ проветривания основан на том, что необходимый для движения воздуха перепад давления создается путем разрежения воздуха вентилятором в устье ствола, выдающего воздух (рис. 2.2).

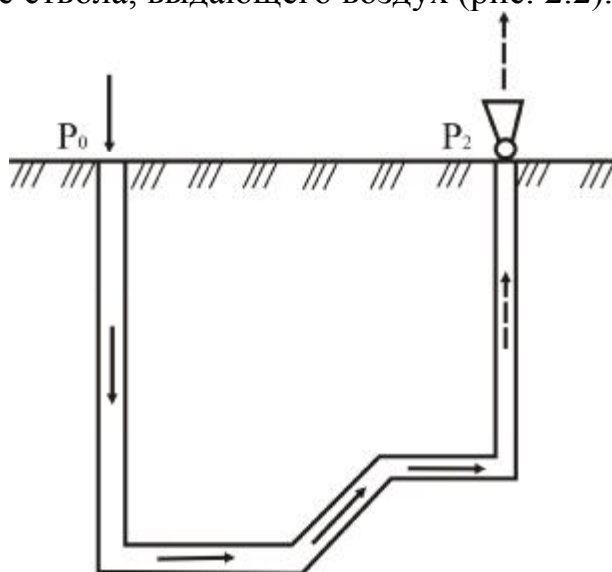


Рис. 2.2. Всасывающий способ проветривания

За счет механической работы вентилятора давление воздуха в устье ствола уменьшается до значения  $P_2$ , меньшего нормального атмосферного давления. В этом случае депрессия шахты определяется по формуле

$$h = P_0 - P_2$$

Достоинства всасывающего способа:

- так как давление воздуха в любой точке горных выработок ниже нормального барометрического, то в случае остановки вентилятора воздух с дневной поверхности будет поступать в горные выработки под действием разности между атмосферным давлением и давлением воздуха в шахте, что особенно важно для газовых шахт, так как в таких случаях давление в выработках будет повышаться, вызывая замедление процесса загазования выработок;

- возможность применять как одну центральную вентиляционную установку, так и несколько их, которые устанавливаются на флангах шахтного поля;

- при использовании одной центральной вентиляционной установки работа ВГП устойчива, легче осуществляется регулирование распределения воздуха в выработках и реверсирование струи.

Недостатки всасывающего способа:

- подсосы воздуха с поверхности через зоны обрушения, трещины и провалы, что вызывает загрязнение воздуха в очистных забоях и снижение интенсивности вентиляции;

- необходимость систематически осматривать и очищать канал вентилятора от рудничной пыли;

- необходимость систематически контролировать содержание метана в общей исходящей струе, так как вероятность взрыва метана при проходе воздушной струи через вентиляционную установку возрастает.

– на пластах, опасных по самовозгоранию, может явиться причиной возникновения пожаров, в связи с чем всасывающий способ проветривания применяется при разработке угольных пластов, не склонных к самовозгоранию (на глубине >200 м) и не имеющих аэродинамической связи с поверхностью через зоны обрушения, провалы, трещины и др.

Комбинированный (нагнетательно-всасывающий) способ вентиляции заключается в том, что в одной части выработок шахты нагнетательным вентилятором создается избыточное давление воздуха, а в другой части всасывающим вентилятором – разрежение (рис. 2.3).

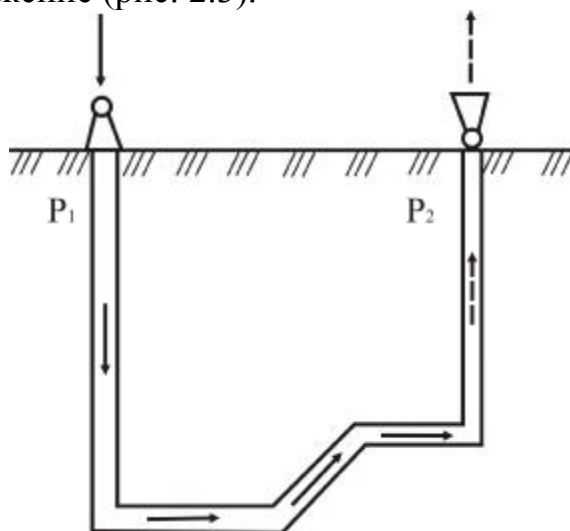


Рис. 2.3. Нагнетательно-всасывающий способ проветривания

Депрессия шахты, создаваемая нагнетательным и всасывающим вентиляторами, определяется по формуле

$$h = P_1 - P_2$$

Достоинства комбинированного способа:

- уменьшение аэродинамической связи с поверхностью, в связи с уменьшением разности давлений между выработками шахты и дневной поверхностью;

- распределение общешахтной депрессии на два вентилятора.

Недостатки комбинированного способа:

- наличие нескольких вентиляционных установок;

- трудность управления вентиляцией.

Способ применяется на шахтах при значительной протяженности горных выработок и разработке самовозгорающихся углей и руд.

## 2.2 Схемы проветривания шахт

Выбор схемы проветривания должен производиться с учетом требований Правил безопасности.

В частности:

- запрещается подача воздуха в шахту по скиповым и наклонным стволам, оборудованным конвейерами;

- не разрешается выдача воздуха через обрушенные зоны и завалы;
- должны соблюдаться допустимые минимальные и максимальные скорости движения воздуха в выработках;
- очистные забои по возможности должны проветриваться за счет общешахтной депрессии сквозными струями без применения вспомогательных подземных вентиляторов.

В зависимости от числа и взаимного расположения выработок, по которым подается свежий и отводится загрязненный воздух, различают центральные, фланговые и комбинированные схемы вентиляции.

Центральная схема проветривания (рис. 2.4) характеризуется расположением воздухоподающего и воздуховыдающего стволов в центре шахтного поля. Расстояние между стволами находится в пределах 30 – 100 м. Эта схема применяется при глубине разработки >200 м.

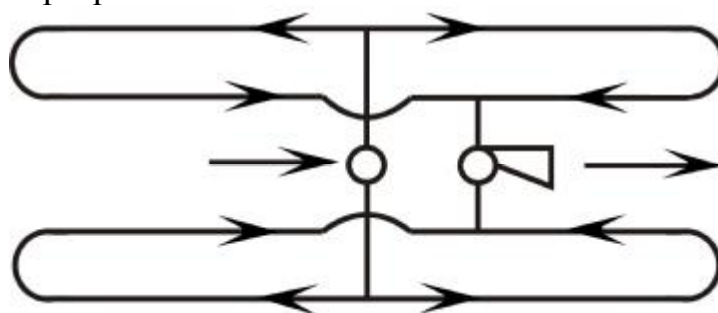


Рис. 2.4. Центральнo-сдвоенная схема проветривания шахты

Если стволы располагаются на значительном расстоянии один от другого, такая схема называется центрально-отнесенной (рис. 2.5). Данная схема применяется при отработке верхней части шахтного поля.

Так как при центрально-сдвоенной и центрально-отнесенной схемах воздух движется по параллельным выработкам, но в противоположном направлении (свежий воздух – к забоям, загрязненный – из забоев), то эти схемы называются возвратноточными.

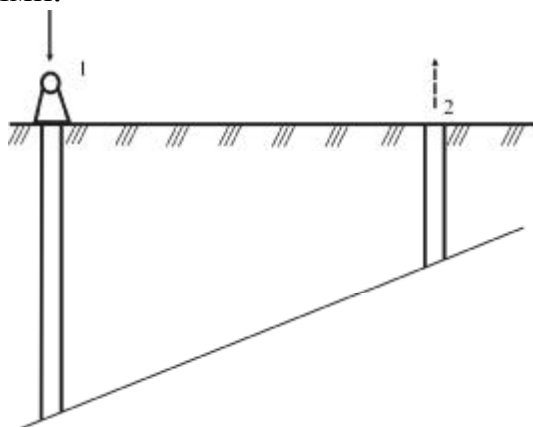


Рис. 2.5. Центральнo-отнесенная схема проветривания шахты:  
1, 2 – соответственно воздухоподающий и воздухоотводящий стволы

Достоинства центральных схем:

- относительно малые капитальные затраты, т.к. проходятся два ствола;
- быстрый ввод шахты в эксплуатацию;

- незначительные потери полезного ископаемого в целиках;
- наличие одной вентиляционной установки;
- концентрация всех поверхностных сооружений шахты;
- простота управления проветриванием.

Недостатки центральных схем:

- относительно высокая депрессия шахты, вследствие удлинения пути движения воздуха по вентиляционной сети;
- большие утечки воздуха в околоствольном дворе и на пути движения свежей и исходящей струй;
- необходимость обеспечения глубины регулирования вентилятора (в связи с тем, что изменяется расстояние очистных забоев до стволов);
- потребность в вентиляционном горизонте по всей длине шахтного поля.

Фланговые (диагональные) схемы проветривания применяются при вскрытии шахтного поля в центре и на границах. В центре шахтного поля располагаются один или два ствола (как правило, воздухоподающие), а на границах шахтного поля – фланговые стволы (как правило, воздухоотводящие).

Воздух по всей длине крыла движется в одном направлении, т. е. фланговые схемы вентиляции являются прямоточными.

В случае большой длины шахтного поля и разработки углей и руд, склонных к самовозгоранию, применяется схема с двумя воздухоотводящими стволами, расположенными на крыльях шахтного поля (рис. 2.6).

Схема применяется при разработке верхних горизонтов, т. е. при незначительной глубине горных работ.

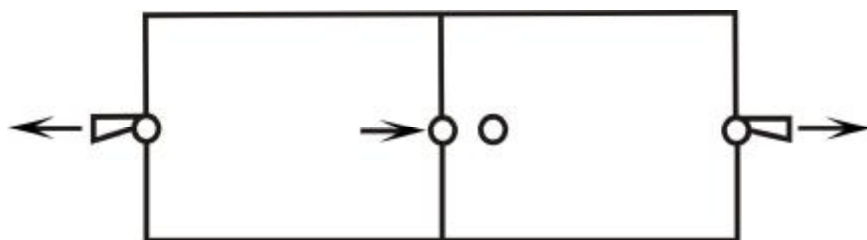


Рис. 2.6. Фланговая крыльевая схема проветривания

При незначительном числе выемочных участков, находящихся на большом расстоянии от воздухоподающего ствола, применяется фланговая групповая (рис. 2.7) или участковая схема (рис. 2.8).

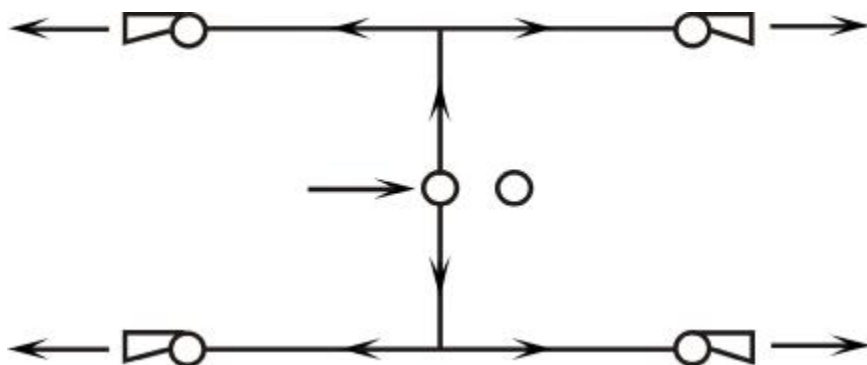


Рис. 2.7. Фланговая групповая схема проветривания

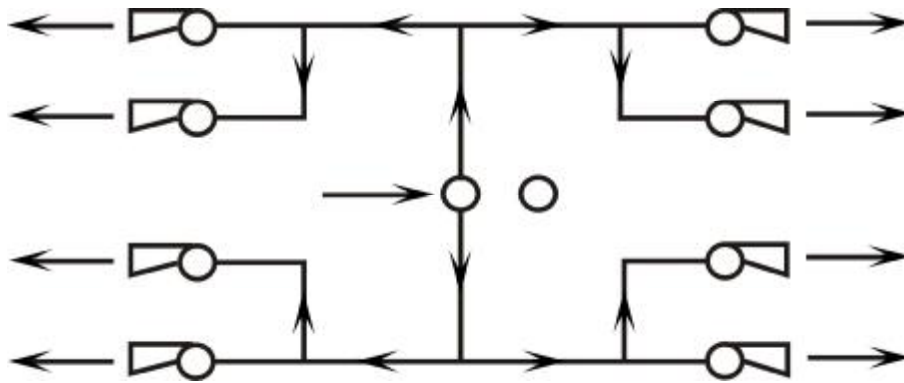


Рис. 2.8. Фланговая участковая схема проветривания

Фланговый вентилятор в этом случае обеспечивает вентиляцию отдельного участка или группы участков.

Достоинства фланговых схем проветривания:

- отсутствие утечек воздуха при его движении от воздухоподающего ствола до очистного забоя;
- уменьшение общешахтной депрессии за счет сокращения пути движения воздуха;
- равномерное распределение депрессии ВГП на весь период отработки шахтного поля;
- отсутствие необходимости поддержания выработок вентиляционного горизонта в течение всего периода отработки шахтного поля.

Недостатки фланговых схем:

- большие капитальные затраты связанные с необходимостью проведения выработок основного горизонта перед началом очистных работ до границ шахтного поля;
- увеличение потерь полезного ископаемого в охранных околоствольных целиках;
- наличие большого числа вентиляционных установок усложняющих управление вентиляторами, их электроснабжение и обслуживание;
- трудности реверсирования струй при аварийных режимах.

Комбинированные схемы проветривания шахт (рис. 2.9) построены на сочетании в себе элементов центральных и фланговых схем с целью использования их преимуществ.

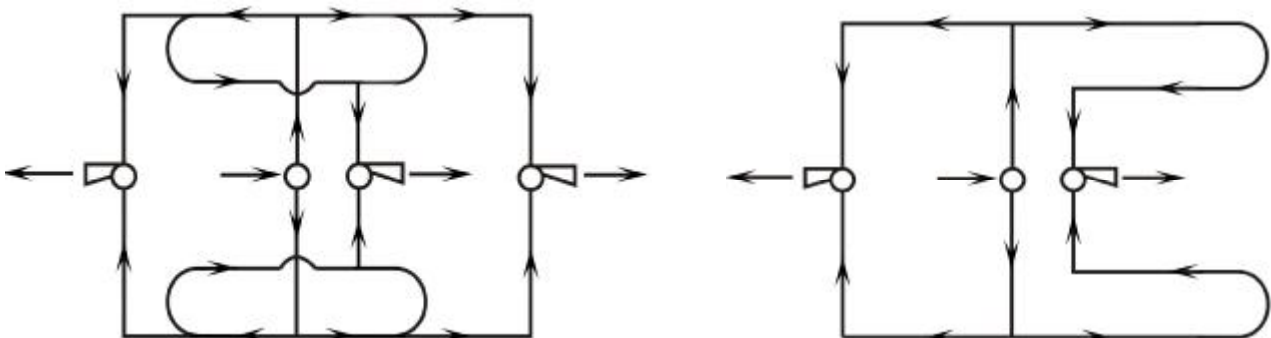


Рис. 2.9. Комбинированные схемы проветривания шахты:



В этих схемах в качестве воздухоподающего используется центральный ствол, а в качестве воздухоотводящих – центральные и фланговые стволы. При использовании таких схем часть выработок (особенно выработки, удаленные от воздухоподающего ствола участков) проветривается по прямоточным схемам, а другая часть – по возвратноточным.

Если по условиям проветривания шахтное поле целесообразно разделить на ряд участков (секций), то применяется комбинированная секционная схема проветривания. В этом случае в центре шахтного поля проходятся воздухоподающие и воздухоотводящие стволы, а на флангах для отвода воздуха – шурфы. Секции проветриваются отдельными воздушными потоками (рис. 2.10).

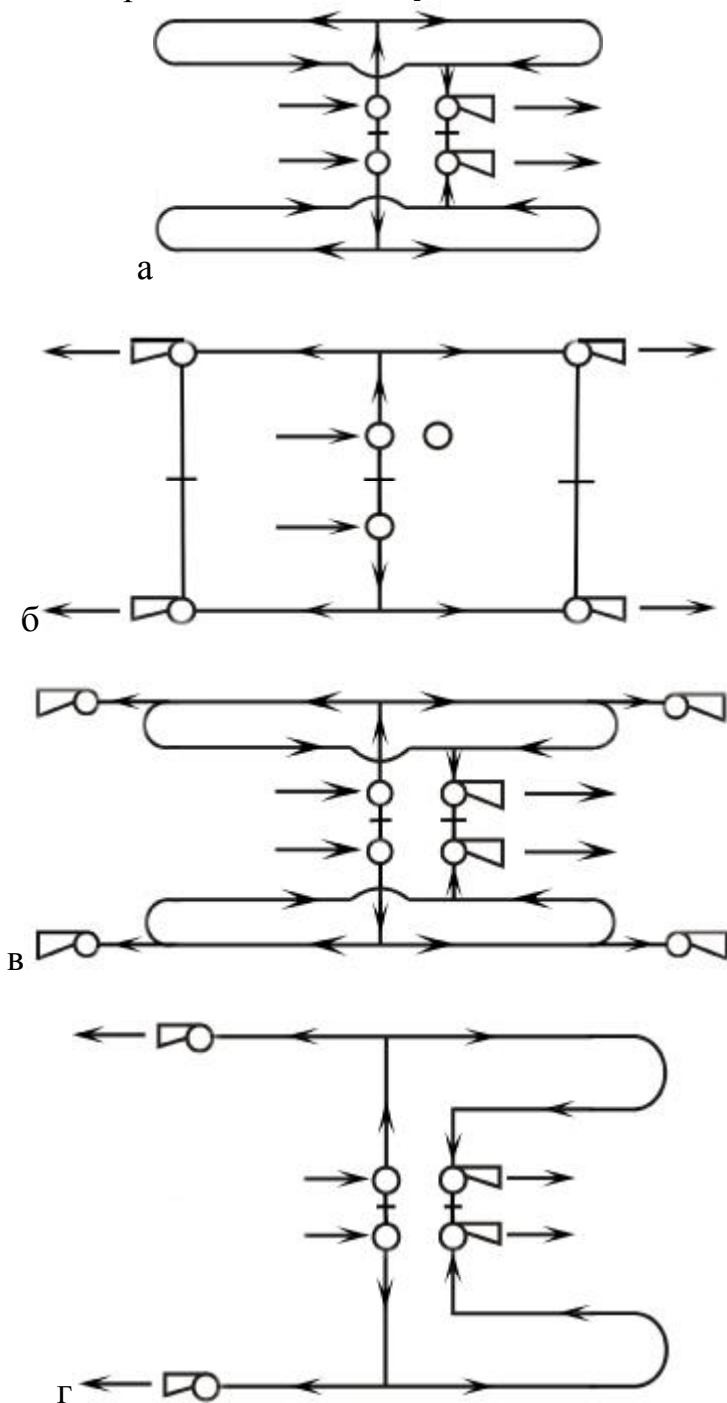


Рис. 2.10. Секционные схемы проветривания шахты: а – секционно-центральная; б – секционно-фланговая; в, г – секционно-комбинированные.

Секционная схема применяется на крупных шахтах и рудниках, где для подачи и отвода воздуха используются до 10 шахтных стволов.

Достоинства комбинированных схем проветривания:

- при значительном числе выработок и больших размерах шахтного поля депрессия вентиляционных установок остается относительно невысокой;
- повышается надежность проветривания отдельных участков;
- упрощается регулирование распределения воздуха на участках;
- повышается безопасность работ благодаря увеличению числа выходов из шахты на поверхность.

Недостатки комбинированных схем:

- сложность вентиляционной сети;
- трудность управления работой вентиляторов и регулирования распределения воздуха по шахте в целом;
- большие капитальные затраты.

### **2.3. Схемы проветривания марганцевых шахт**

Внедрение новой высокопроизводительной техники на шахтах бассейна обеспечивает возможность значительного повышения концентрации очистных работ.

Ранее рост производственной мощности марганцевых шахт достигался за счет увеличения количества очистных забоев (заходок). Это приводило к значительной разбросанности очистных работ по шахтному полю, что отрицательно сказывается на работе транспорта, вентиляции и др. Так на шахте № 4/7 Марганецкого ГОКа для обеспечения производственной мощности 1 млн.т руды в год потребовалось около двадцати очистных забоев (заходок). Эту же добычу руды на шахте № 9/10 обеспечивают две лавы, оборудованные механизированными комплексами ОКП.

Высокая концентрация очистных работ является эффективным средством повышения экономичности добычи марганцевой руды. Как правило, себестоимость продукции и трудоемкость работ на шахтах с высокой концентрацией очистных работ ниже. Основные задачи концентрации – этот рост производительности труда, снижение себестоимости продукции и повышение безопасности на рабочих местах.

Повышение концентрации очистных работ за счет внедрения высокопроизводительных комплексов, как правило, связано с увеличением размеров шахтных полей, значительным удлинением вентиляционных струй, увеличением депрессий горных выработок.

В настоящее время на действующих и проектируемых марганцевых шахтах применяется схема вскрытия шахтного поля с центральным расположением стволов, целесообразность которой подтверждается практикой и исследованиями, проведенными в последние годы. Такая схема вскрытия предопределила на действующих шахтах центральную схему проветривания (рис.2.9), при которой, свежая струя воздуха поступает в шахту по главному стволу, откаточным штрекам и подается при помощи вентиляторов местного проветривания в очи-

стные забои. Исходящая струя воздуха по выработкам выемочных участков, вентиляционным штрекам и вспомогательным стволам выводится из шахты.

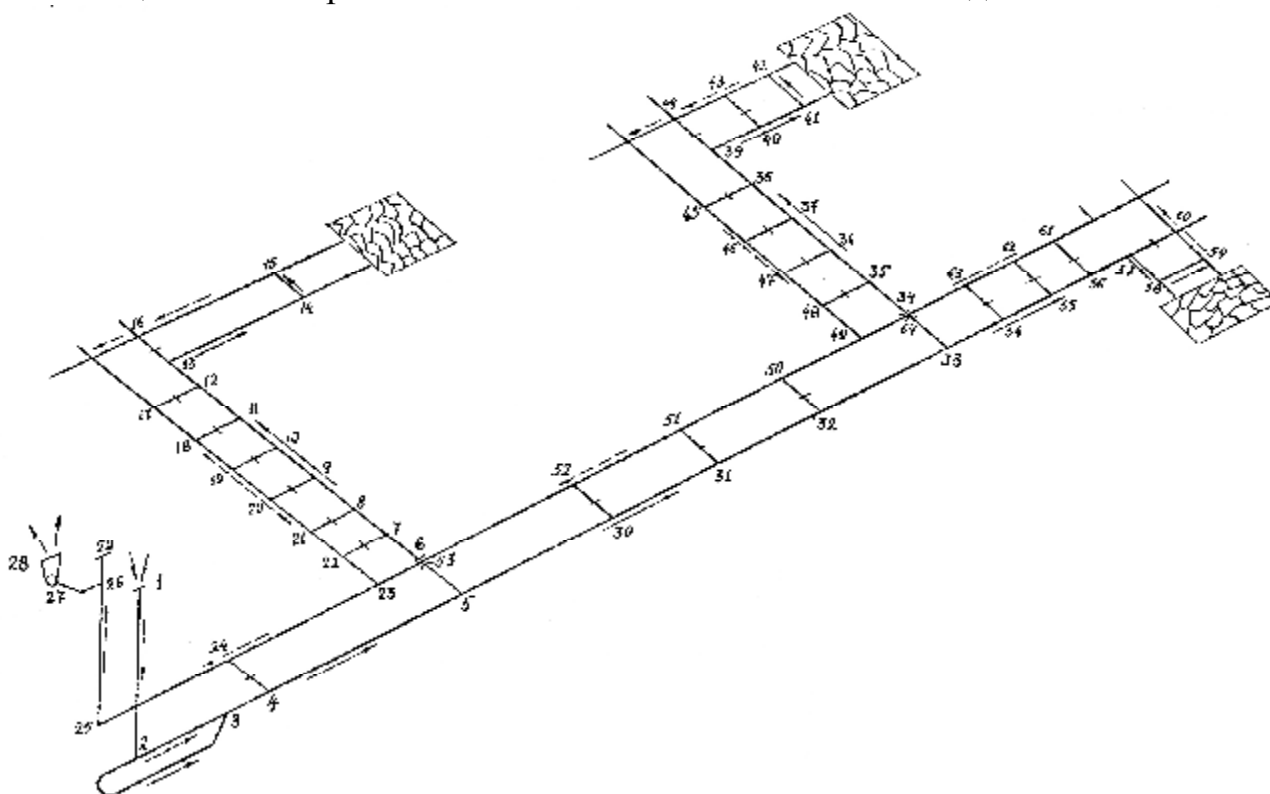


Рис. 2.9. Вариант центральной схемы проветривания действующей марганцевой шахты

Анализ данных аэродинамических съемок свидетельствует о том, что несмотря на ряд мероприятий, направленных на улучшение проветривания шахт бассейна, 30 % воздуха при его движении по горным выработкам просачивается через вентиляционные сооружения, установленные в сбойках между параллельными выработками главных направлений, 15 % просачивается через герметизирующие устройства главной вентиляционной установки и надшахтное здание. Такое положение обусловлено недостатком центральных схем проветривания. Существенным недостатком этих схем проветривания является также трудность эвакуации людей при пожаре в шахте. Если учесть, что наибольшее число пожаров в рудных шахтах возникает в выработках со свежей струей недалеко от ствола, а средняя скорость движения воздуха по главным выработкам – 5 м/с, то выработки главных направлений (главные откаточный и вентиляционный штреки) общей протяженностью 3-4 км будут заполнены продуктами горения за 10-15 мин. Выход людей на поверхность без самоспасателей окажется невозможным. Опрокидывание вентиляционной струи в этом случае неэффективно, вследствие наличия большого числа ветвей-утечек (рис.2.10).

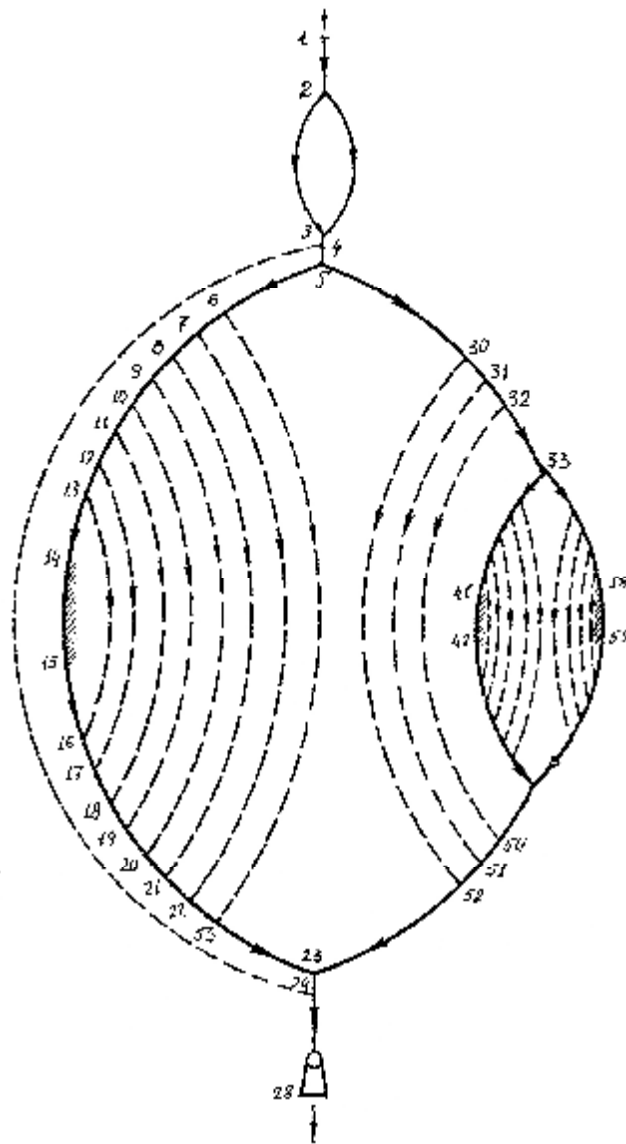


Рис. 2.10. Схема вентиляционных соединений шахты с центральной схемой проветривания

Одним из основных недостатков центральных схем проветривания является значительная длина пути вентиляционной струи. Так, при длине крыла шахты 1,5 км, длина пути вентиляционной струи равна 3 км, т.е. воздух совершает двойной путь.

В отдельную группу следует выделить шахты, схемы проветривания которых приведены на рис. 2.11. Для шахт этой группы характерна комбинированная схема проветривания, при которой в центральной части шахтного поля применяется прямоточное движение вентиляционной струи, а на фланговых участках – возвратноточное. Свежий воздух подается в шахты по главному и вспомогательным стволам, а исходящая струя выводится на поверхность по сборному конвейерному штреку и двум скважинам, оборудованным вентиляционной установкой.

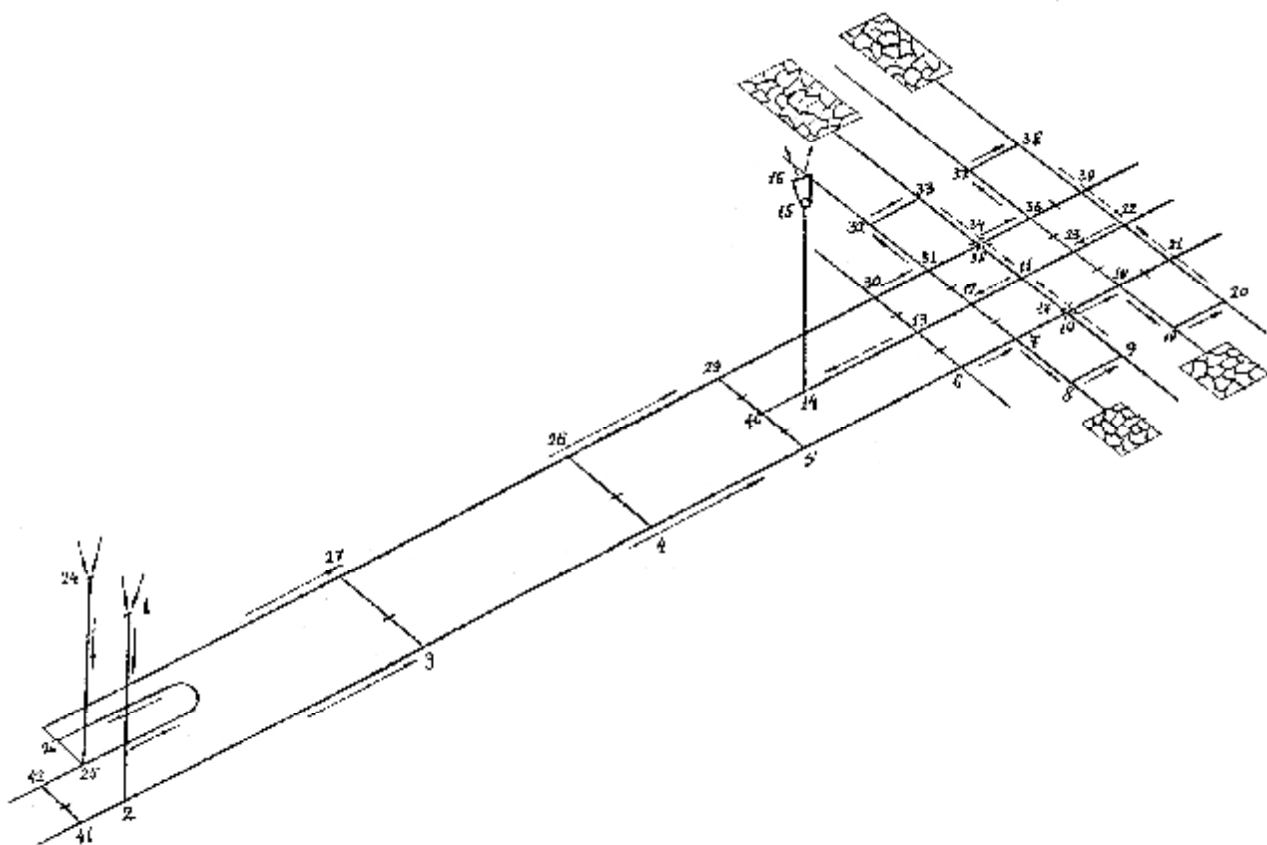


Рис. 2.11. Вариант фланговой схемы проветривания марганцевой шахты.

Применение для подачи свежего воздуха откаточного и вентиляционного штреков привело к значительному уменьшению утечек воздуха по сравнению с шахтами первой группы. Улучшилась управляемость вентиляционных струй в аварийных режимах. Вывод исходящей струи через скважины, пробуренные на фланге шахтного поля, позволил значительно уменьшить длину пути вентиляционной струи. Схемы шахт второй группы более безопасны, так как при возникновении пожара в шахте остаются свободными от продуктов горения один из штреков главного направления и ствол, что обеспечивает более надежную и безопасную эвакуацию людей в случае пожара. Основными недостатками этих схем проветривания являются наличие ветвей-утечек (рис. 2.12) на фланговом участке шахтного поля, большие потери давления на скважинах, составляющие 50 % от депрессии всей сети. Эти недостатки обусловлены необоснованным выбором параметров таких элементов схем проветривания, как место заложения скважин в схеме, их диаметр и количество.

В особую группу следует выделить шахты № 3/5 и 9/10 (рис. 2.13), поэтому ей присущи те же недостатки, что и первой группе. Схема проветривания забоев шахт этой группы центральная. Кроме того, свежий воздух подается в шахту и выводится из нее по нескольким стволам. В отличие от шахт первых двух групп, которые характеризуются последовательно-параллельным соединением выработок, шахты третьей группы имеют сложное соединение выработок с наличием диагоналей, в которых расположены очистные забои (рис. 2.14).

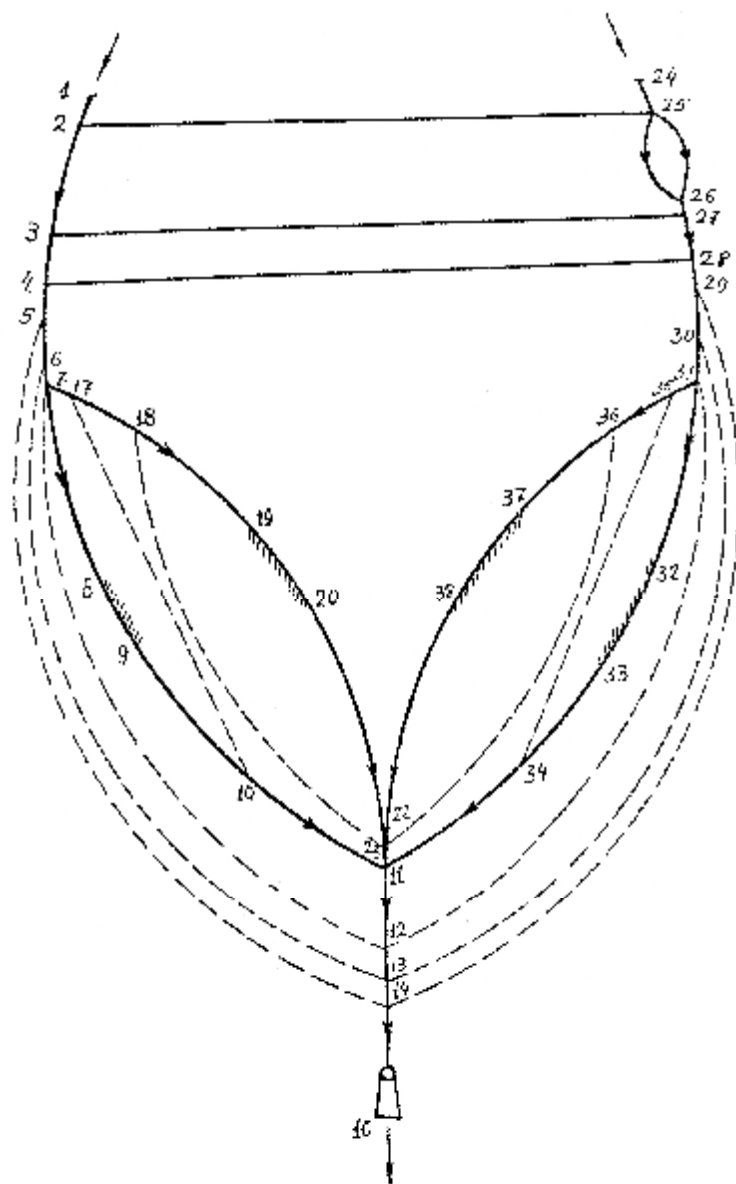


Рис. 2.12. Схема вентиляционных соединений с фланговой схемой проветривания.

Наличие в этих схемах диагоналей и применение нескольких вентиляционных установок, работающих на одну сеть, вызывает необходимость анализа их на устойчивость направления вентиляционных струй, а также анализа совместной работы вентиляторов.

Общим недостатком схем проветривания всех трех групп марганцевых шахт является то, что они не обеспечивают требуемого в соответствии с Едиными правилами безопасности сквозного проветривания очистных забоев за счет общешахтной депрессии.

В условиях высокого горного давления и возможности прорыва пльвунов в горные выработки, важное значение приобретает надежность схем проветривания. При использовании для подачи свежего воздуха в забой только одной выработки, что имеет место при центральной схеме проветривания шахт первой и третьей групп, перекрытие ее приведет к полному отказу схемы вентиляции и повлечет за собой значительный экономический ущерб. В отличие от первой и

третьей групп, схемы проветривания шахт второй группы обладают высокой надежностью. При перекрытии одной из параллельных выработок, схема проветривания продолжает функционировать.

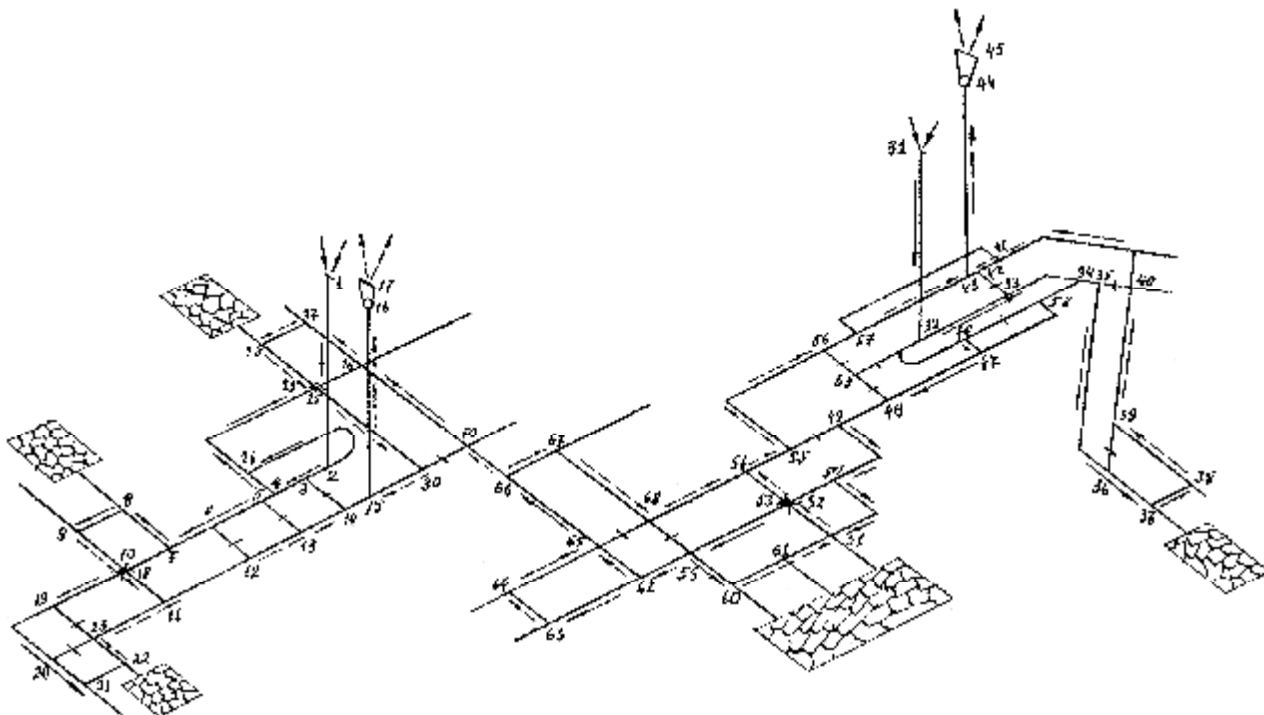


Рис. 2.13. Вариант схемы проветривания объединенных марганцевых шахт.

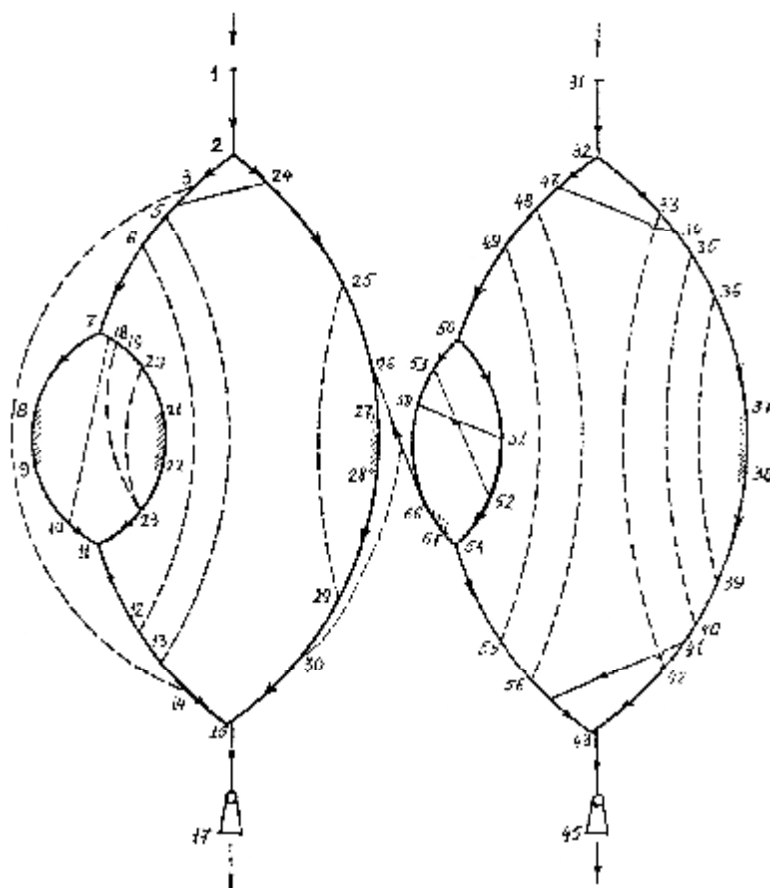


Рис. 2.14. Схема вентиляционных соединений шахт с единой схемой проветривания при их объединении.

Несмотря на идентичность горногеологических условий залегания марганцевого пласта на всех действующих шахтах, различные технические решения обусловили применение разнообразных схем проветривания. Применяемые в настоящее время центральные схемы проветривания малоэффективны и могут быть использованы лишь при небольших производственных мощностях шахт и размерах шахтных полей, при условии надежной герметизации вентиляционных сооружений и применении средств для уменьшения утечек.

В условиях высокой концентрации горных работ, значительного увеличения размеров шахтных полей, неглубокого залегания (40-100 м) месторождения и весьма слабых, обладающих плавунными свойствами надрудных глин и пород необходима разработка более совершенных схем проветривания с использованием вентиляционных скважин или стволов на фланге шахтного поля.

В условиях значительной вытянутости шахтных полей, требуется схема проветривания с минимальной длиной пути движения воздуха по горным выработкам. Последовательная проходка вентиляционных стволов или скважин в районе концентрации очистных работ позволяет осуществить схему проветривания с учетом динамики развития горных работ. При этом достигается значительное сокращение длины пути вентиляционной струи, повышение надежности схемы и уменьшение утечек воздуха. По мере подвигания горных работ вентиляционные стволы или скважины погашаются, а взамен их проводятся новые.

При прямом порядке отработки шахтного поля с оставлением охранных целиков, проветривание выработок по данной схеме осуществляется следующим образом (рис. 2.15) [27].

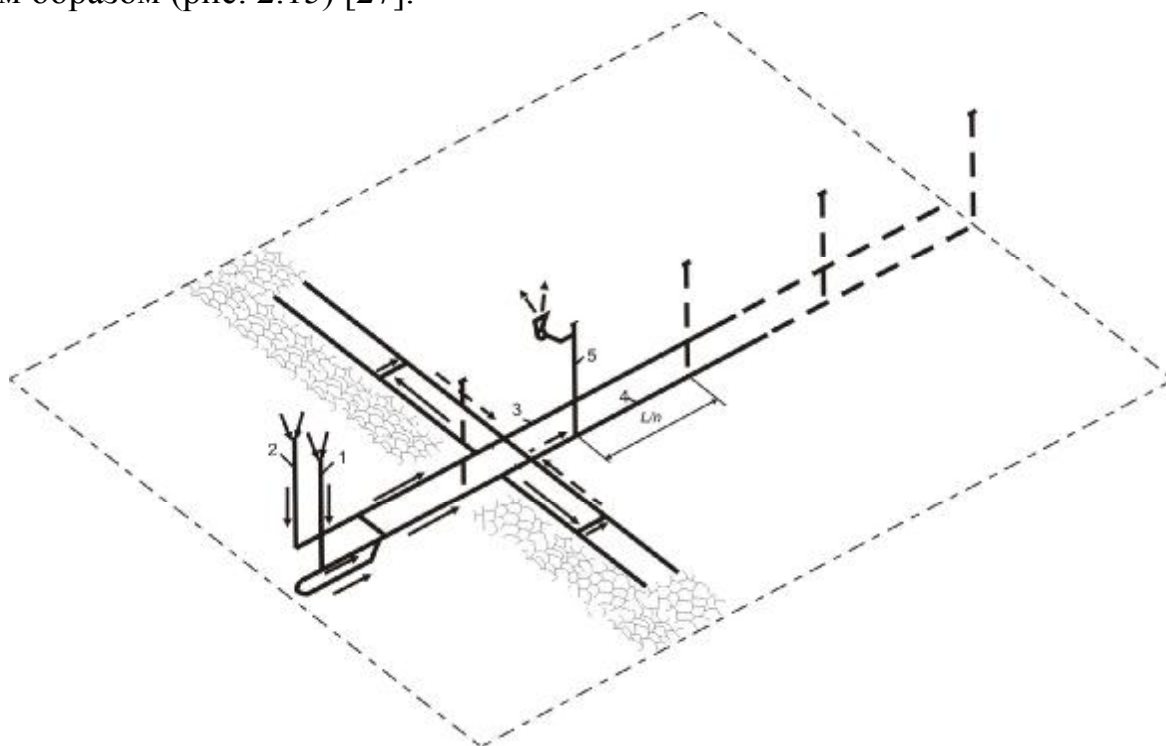


Рис. 2.15. Прямоточная схема проветривания при отработке шахтного поля прямым ходом: 1 – центральный ствол; 2 – вентиляционный ствол; 3 – главный откаточный штрек; 4 - вентиляционный штрек; 5 – вентиляционный ствол или скважина.



Свежий воздух подается по центральному стволу 1 и далее по главному откаточному и выемочному штрекам 2,3 в забой. Исходящая струя по штреку 4 и вентиляционному стволу или скважине 5 выводится на поверхность. При приближении горных работ к вентиляционному стволу, последний герметизируется, а исходящая струя выводится через вновь сооруженный вентиляционный ствол или скважину с шагом  $H = \frac{L}{n}$  от предыдущего ( $n$  – количество вентиляционных стволов или скважин, сооружаемых последовательно с поверхности на штрек за период отработки шахтного поля). Часть воздуха подается по главному вентиляционному штреку в количестве, необходимом только для его проветривания. При такой схеме отсутствует противонаправленное движение свежей и исходящей струй воздуха, что обуславливает эффективное сквозное проветривание и сводит к минимуму утечки воздуха. Вентиляционные стволы или скважины по мере подвигания горных работ сохраняются на весь период отработки и могут использоваться в качестве запасных выходов и для различных вспомогательных операций. Надежность схемы проветривания и безопасность ведения горных работ при этом значительно повышаются. В тот период, когда очистные работы находятся на незначительном расстоянии от главного ствола, проветривание горных выработок производится по центральной схеме.

В настоящее время при проектировании марганцевых шахт с большой производственной мощностью предусматривается конвейерная доставка руды от забоя и на поверхность до погрузки ее в железнодорожные вагоны. Для этого используется сборный конвейерный штрек. С целью уменьшения аэродинамического сопротивления движению вентиляционной струи, запыленности рудничной атмосферы, а также устранения возможности опрокидывания вентиляционной струи под действием потока руды целесообразно применять сонаправленное движение воздуха в конвейерных выработках. Движение воздуха в этом случае необходимо осуществлять по схеме, приведенной на рис. 2.16.

Если применяется обратный порядок отработки шахтного поля, вентиляционные стволы или скважины погашаются вместе с магистральными выработками вслед за фронтом продвижения горных работ. После погашения вентиляционного ствола или скважины вывод исходящей струи осуществляется через следующую, вновь пройденную вне зоны влияния горных работ с шагом  $H = \frac{L}{n+1}$  от предыдущей. Схему рационально применять при электровозной откатке (рис. 2.17).

В описанных выше схемах вентиляции, для подачи воздуха в магистральный вентиляционный и сборный конвейерный штреки в количестве, необходимом для их проветривания, нужно устанавливать отрицательные регуляторы расхода воздуха. Известно, что наличие отрицательных регуляторов снижает эффективность проветривания. Следовательно, целесообразно применять такие схемы проветривания, которые позволили бы осуществить естественное воздухораспределение.

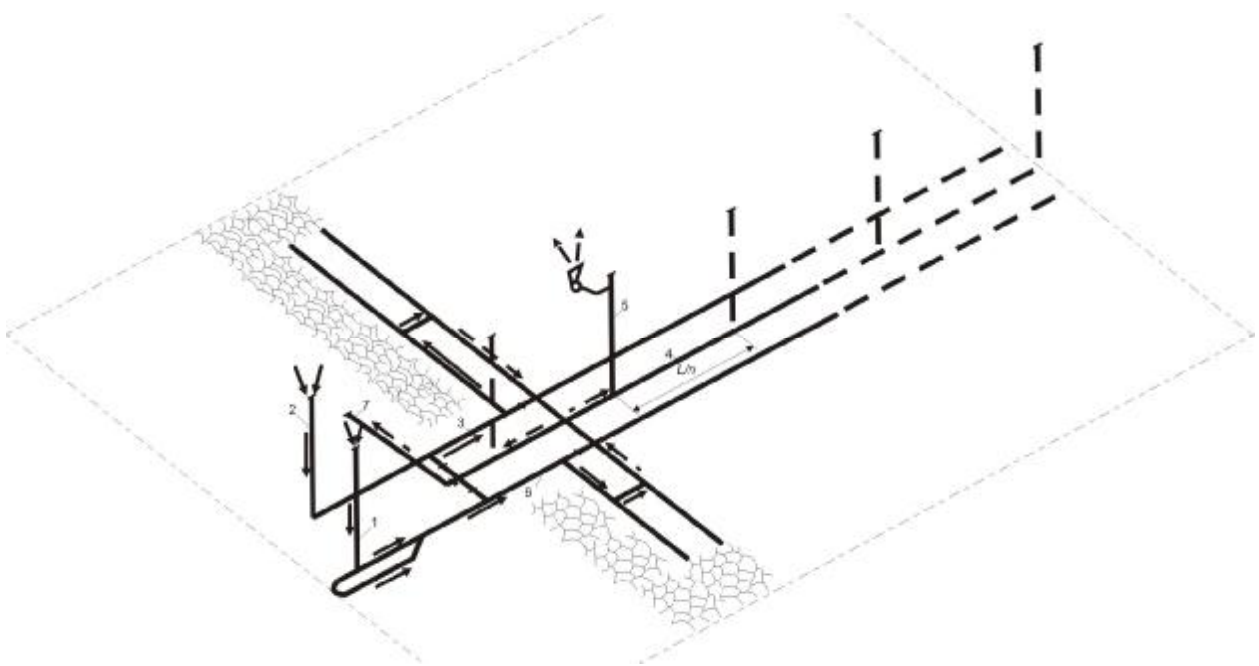


Рис. 2.16. Прямоточная схема проветривания при отработке шахтного поля прямым ходом при полной конвейеризации марганцевой руды: 1 – центральный ствол; 2 – вентиляционный ствол; 3 – главный откаточный штрек; 4 – сборный конвейерный штрек; 5 – вентиляционный ствол или скважина; 6 – вентиляционный штрек; 7 – наклонный ствол для выдачи марганцевой руды.

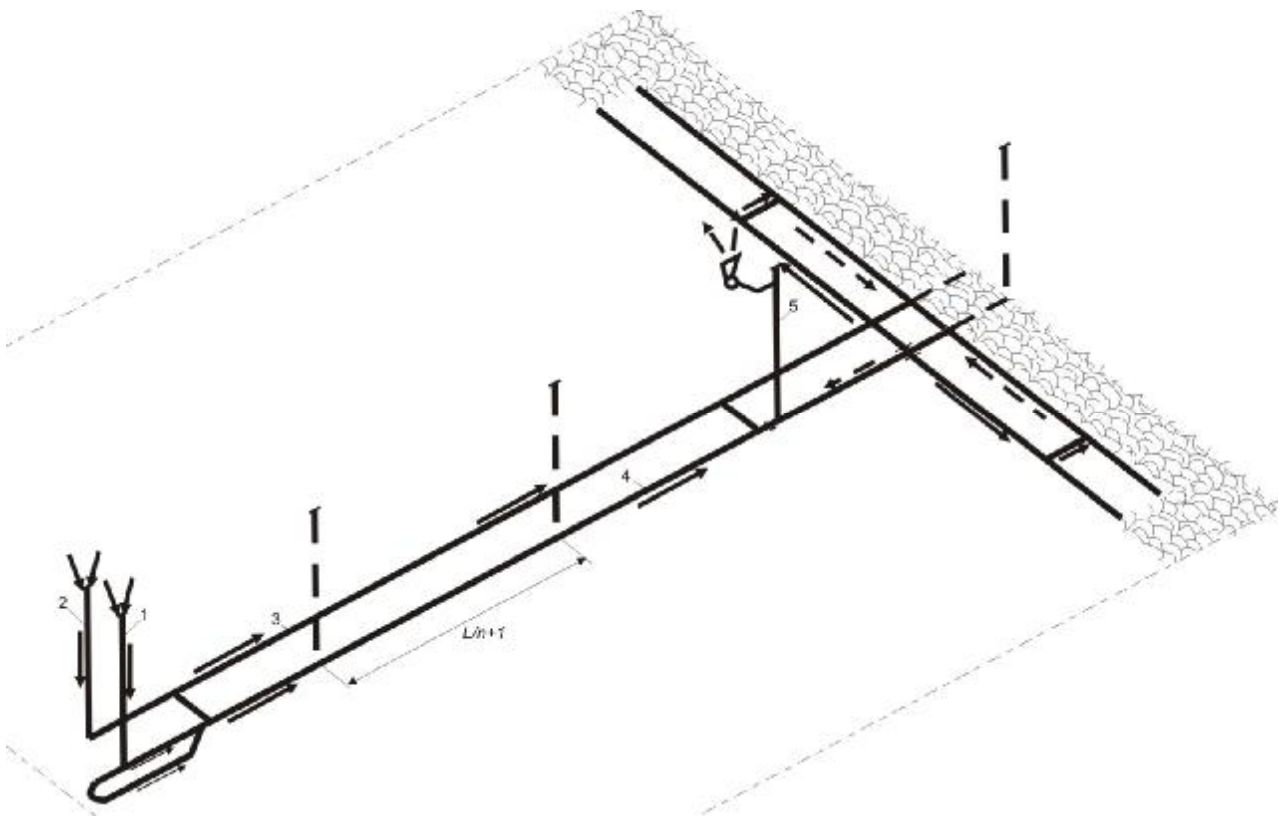


Рис. 2.17. Прямоточная схема проветривания при отработке шахтного поля обратным ходом: 1 – центральный ствол; 2 – вентиляционный ствол; 3 – главный откаточный штрек; 4 – вентиляционный штрек; 5 – вентиляционный ствол или скважина.

Известно также, что на естественное воздухораспределение оказывают влияние местные сопротивления, поэтому схема должна быть простой с минимальным числом поворотов, сужений и т.п. При отработке шахтного поля обратным ходом и применение сборного конвейерного штрека такая схема проветривания может быть реализована путем уравнивания депрессий конвейерного штрека и вентиляционного ствола или скважины, используемых для вывода исходящей струи. Равенство депрессий в указанных выработках может быть достигнуто за счет изменения величины диаметра ствола или скважины, в отличие от установки отрицательных регуляторов в предыдущих схемах (рис. 2.18).

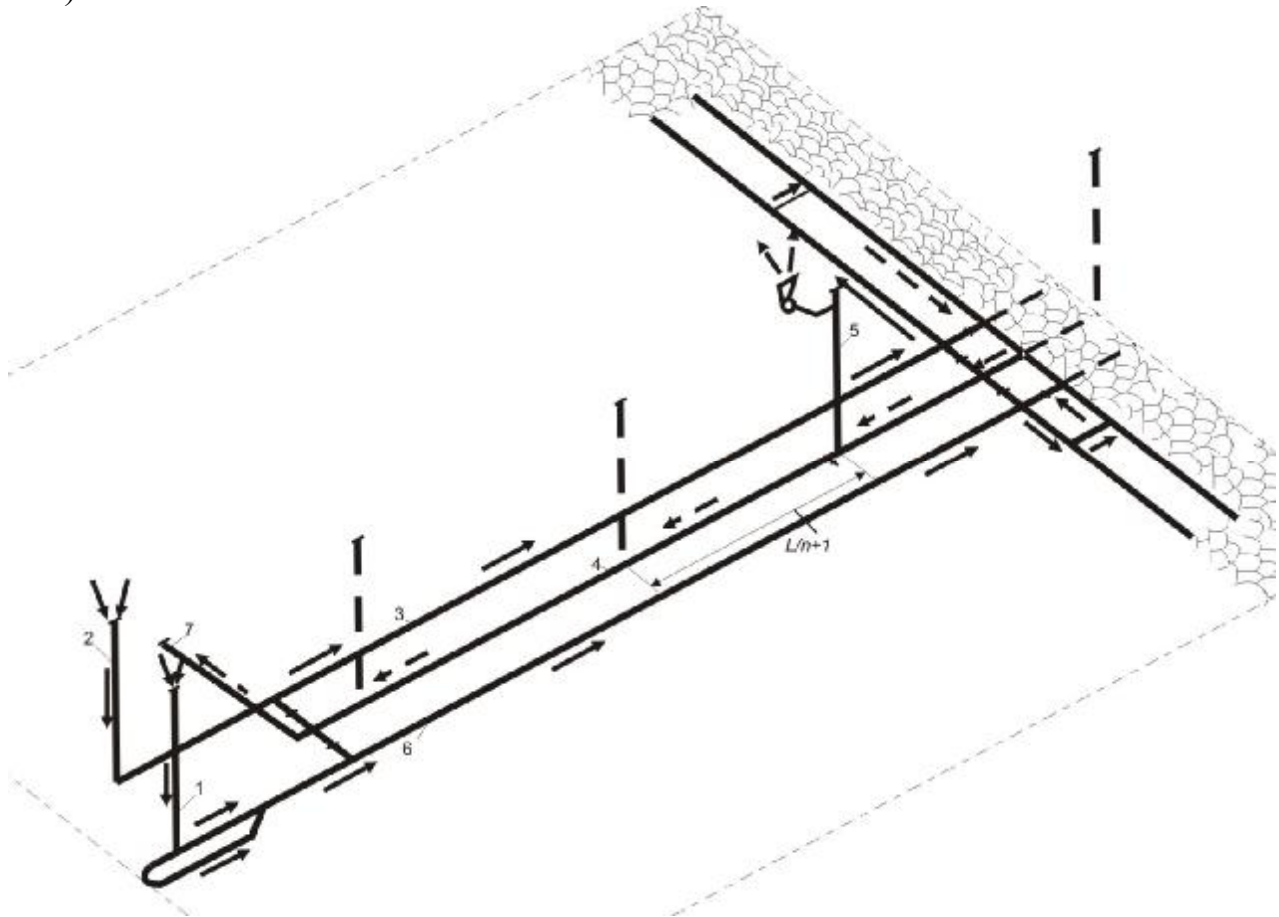


Рис. 2.18. Прямоточная схема проветривания при отработке шахтного поля обратным ходом при полной конвейеризации марганцевой руды: 1 – центральный ствол; 2 – вентиляционный ствол; 3 – главный откаточный штрек; 4 – сборный конвейерный штрек; 5 – вентиляционный ствол или скважина; 6 – вентиляционный штрек; 7 – наклонный ствол для выдачи марганцевой руды.

При проведении сборного конвейерного штрека в период отработки шахтного поля обратным ходом и применения комбинированной системы транспорта полезного ископаемого, проветривание осуществляется по схеме на рис. 2.19.

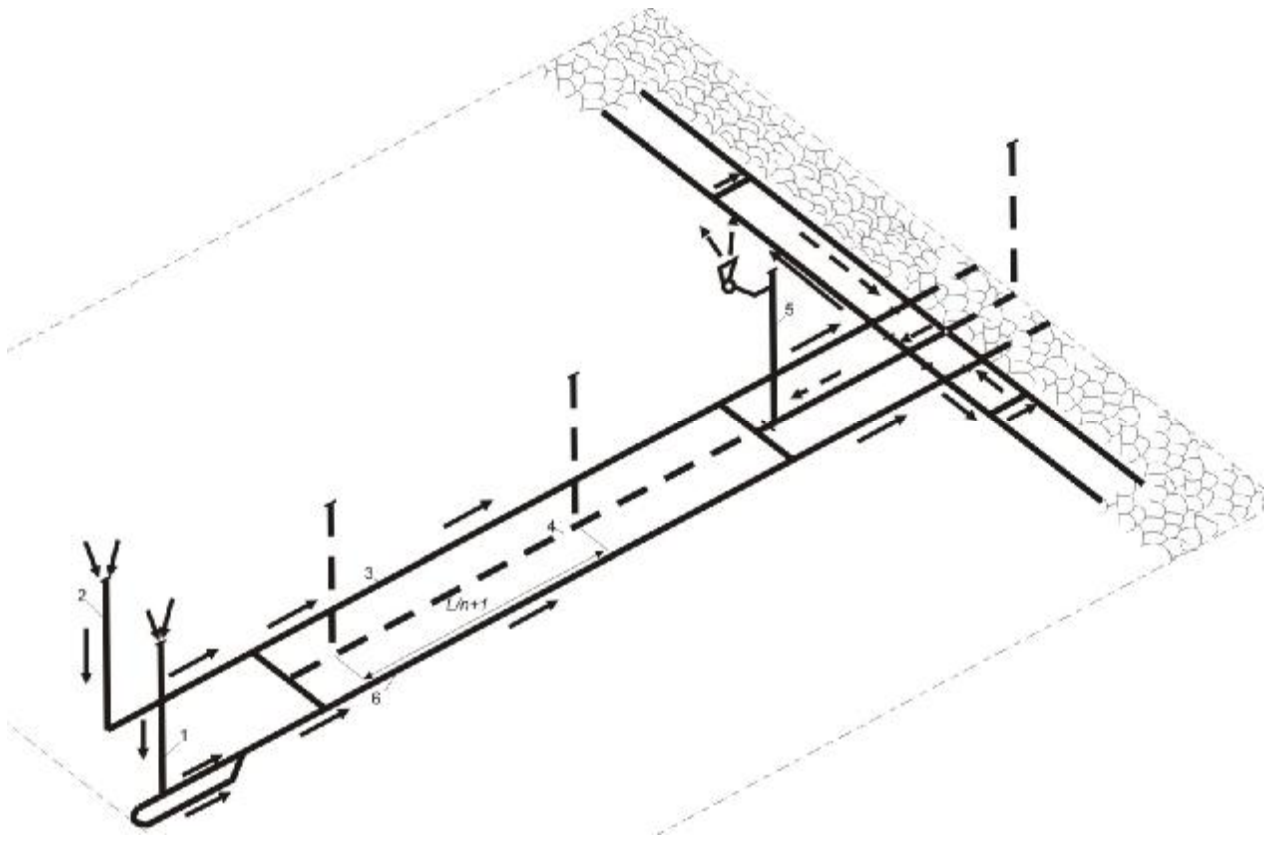


Рис. 2.19. Прямоточная схема проветривания при отработке шахтного поля обратным ходом при полной конвейеризации марганцевой руды: 1 – центральный ствол; 2 – вентиляционный ствол; 3 – главный откаточный штрек; 4 – сборный конвейерный штрек; 5 – вентиляционный ствол или скважина; 6 – вентиляционный штрек.

#### 2.4. Основные схемы проветривания рудников

При сплошной системе разработки горизонтальных и слабонаклонных рудных тел вентиляция блоков осуществляется за счет общешахтной депрессии по схеме, приведенной на рис. 2.20.

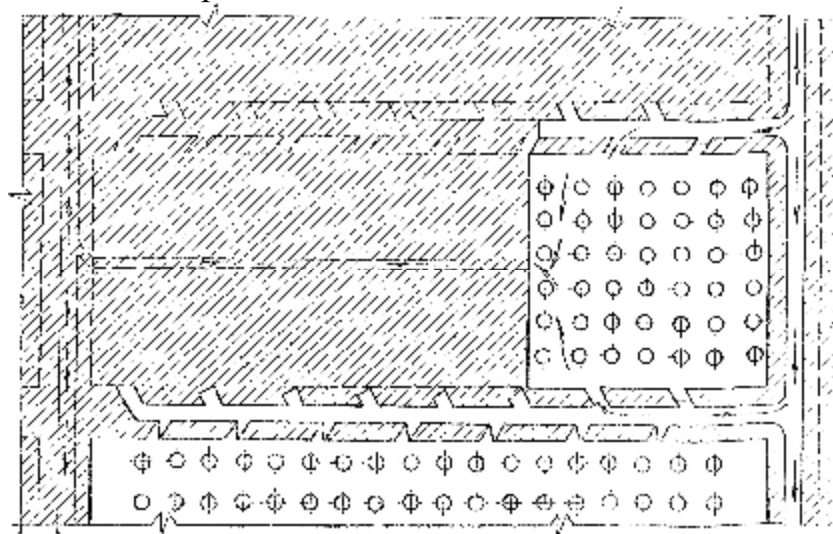


Рис. 2.20. Схема вентиляции при сплошной системе разработки горизонтальных и слабонаклонных рудных тел.

Для приближения воздушного потока к забою его направляют из штреков в очистное пространство только через ближайшие сбойки, более отдаленные сбойки перекрывают перемычками. Панель чаще отрабатывают прямым ходом. Для отвода загрязненного воздуха под кровлей залежи проводят вентиляционный штрек.

При разработке мощных рудных тел этажно-камерными системами и системами с обрушением руды и вмещающих пород вентиляция осуществляется в основном по схемам, один из вариантов которых приведен на рис. 2.21.

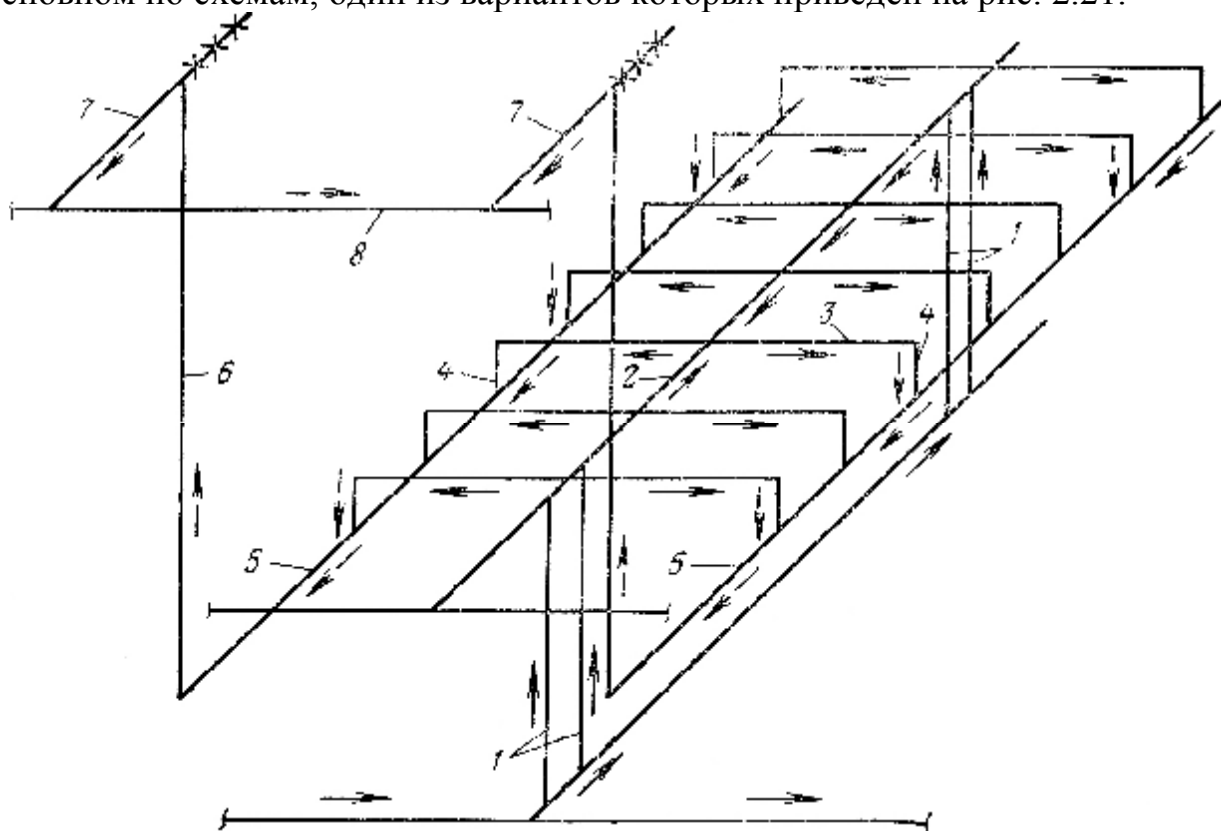


Рис. 2.21. Схема вентиляции при разработке мощных рудных тел этажно-камерными системами разработки и системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

Свежий воздух с откаточного горизонта по специальным вентиляционным, ходовым и хозяйственным восстающим 1 поступает в хозяйственный орт 2 горизонта скреперования, где распределяется между очистными и нарезными забоями 3 при помощи средств регулирования. Исходящая струя по восстающим 4, расположенным в тупиковой части забоев, спускается в сборочный вентиляционный орт 3, проведенный на 7...10 м ниже горизонта скреперования.

При отработке верхнего подэтажа исходящая струя из сборочных вентиляционных междублоковых ортов по вентиляционным восстающим 6, проведенным в лежачем боку залежи, выдается вначале на междублоковый орт 7, а затем в вентиляционный штрек-коллектор 8 или вентиляционный штрек верхнего этажа. При отработке нижнего подэтажа исходящая струя из вентиляцион-

ного орта поступает непосредственно в штрек-коллектор действующего этажа, который располагается в лежачем боку на 10...12 м выше откаточного штрека.

При разработке крутых тел средней мощности системой подэтажной отбойки руды вентиляция осуществляется по схеме, приведенной на рис. 2.22. При этом подэтажные штреки и горизонт скреперования хорошо обеспечиваются свежим воздухом, поступающим с откаточного штрека по восстающим междукамерного целика.

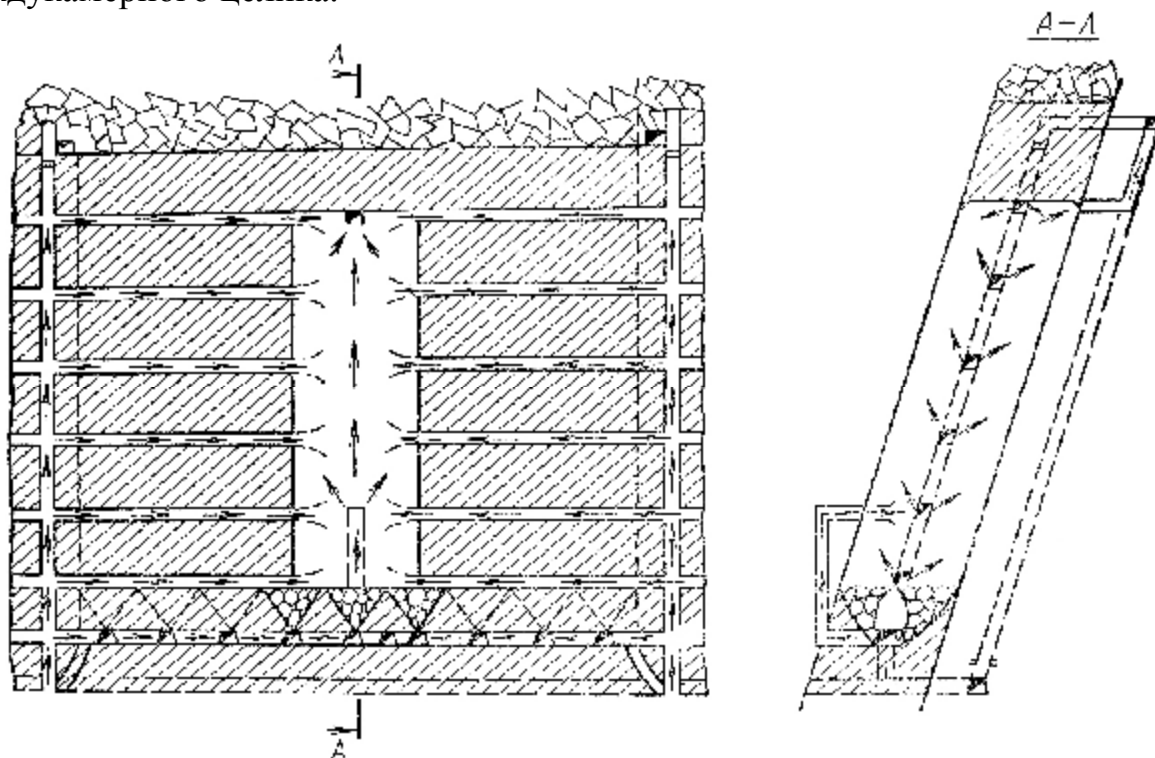


Рис. 2.22. Схема вентиляции при разработке крутых рудных тел средней мощности системой подэтажной отбойки руды.

При односторонней и двусторонней выемке блока исходящая струя поступает в верхнюю часть восстающих междукамерных целиков, а оттуда — в вентиляционный штрек.

При разработке маломощных крутых рудных тел с магазинированием руд вентиляция осуществляется по широко распространенной схеме, приведенной на рис. 2.23.

При разработке крутых рудных тел с закладкой выработанного пространства вентиляция при системе разработки наклонными слоями может осуществляться по схеме рис. 2.24.

Для обеспечения более равномерного и обособленного распределения воздуха между блоками, этажами и отдельными горизонтами, а также для снижения подсосов воздуха через зоны обрушения рекомендуются следующие четыре варианта фланговой схемы вентиляции рудников. Первый вариант (рис. 2.25) предназначен для проветривания рудников мощностью более 6 млн. т в год при разработке на большой глубине и сравнительно небольшой длине шахтного поля (1000—1500 м). При этом на каждый рабочий этаж проводится один штрек-коллектор. Способ проветривания — комбинированный.

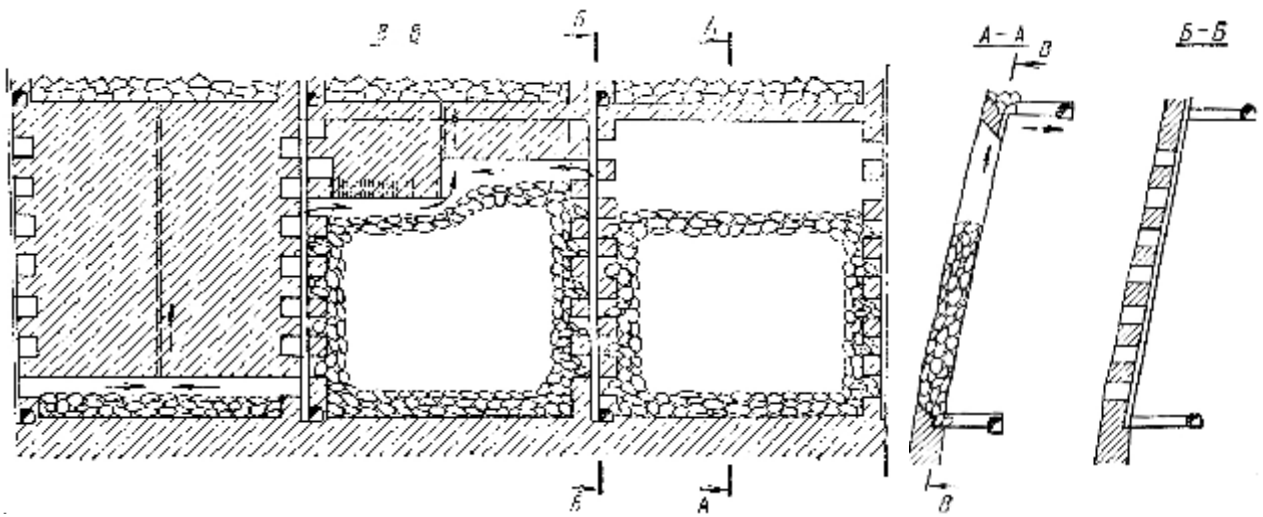


Рис. 2.23. Схема вентиляции при разработке маломощных крутых рудных тел с magazинированием руды.

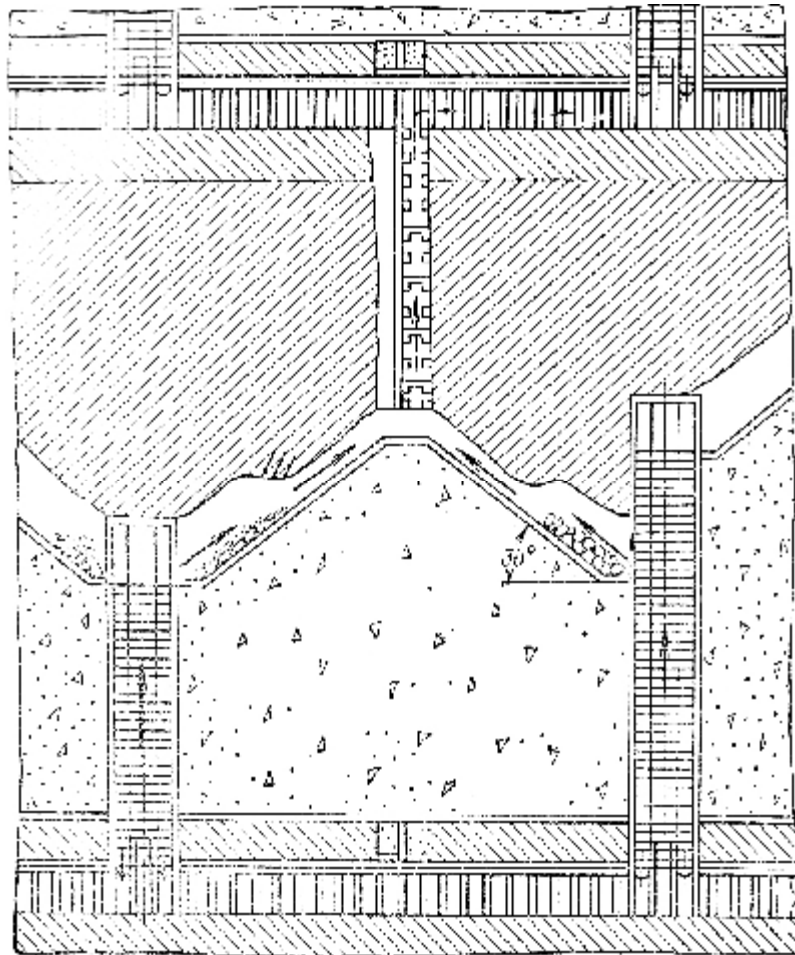


Рис. 2.24. Схема вентиляции при разработке крутых рудных тел с закладкой выработанного пространства

Второй вариант (рис. 2.26) рекомендуется для вентиляции рудников мощностью 2—6 млн. т в год, имеющих шахтное поле небольшой длины. Схема включает один штрек-коллектор на два рабочих горизонта. Способ вентиляции может быть любым.

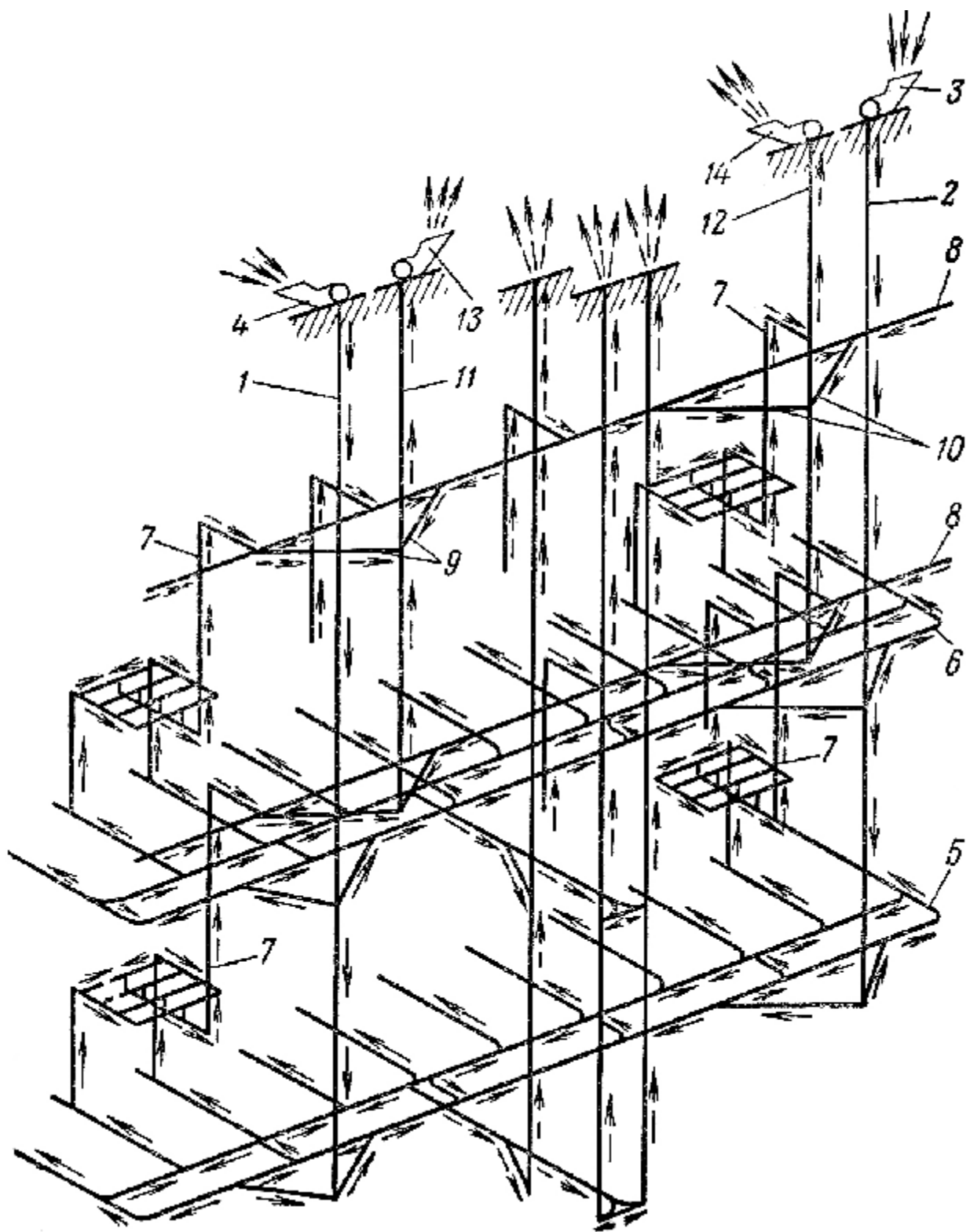


Рис. 2.25. Фланговая схема вентиляции рудников большой производственной мощности с применением одного вентиляционного штрека-коллектора на каждый рабочий этаж (первый вариант): 1, 2 – воздухоподающие стволы; 3, 4 – нагнетательные вентиляторы; 5, 6 – выработки откаточных горизонтов; 7 – блоковые восстающие; 8 – штрек-коллектор; 9, 10 – диагональные вентиляционные квершлагги; 11, 12 – вентиляционные стволы; 13, 14 – всасывающие вентиляторы.



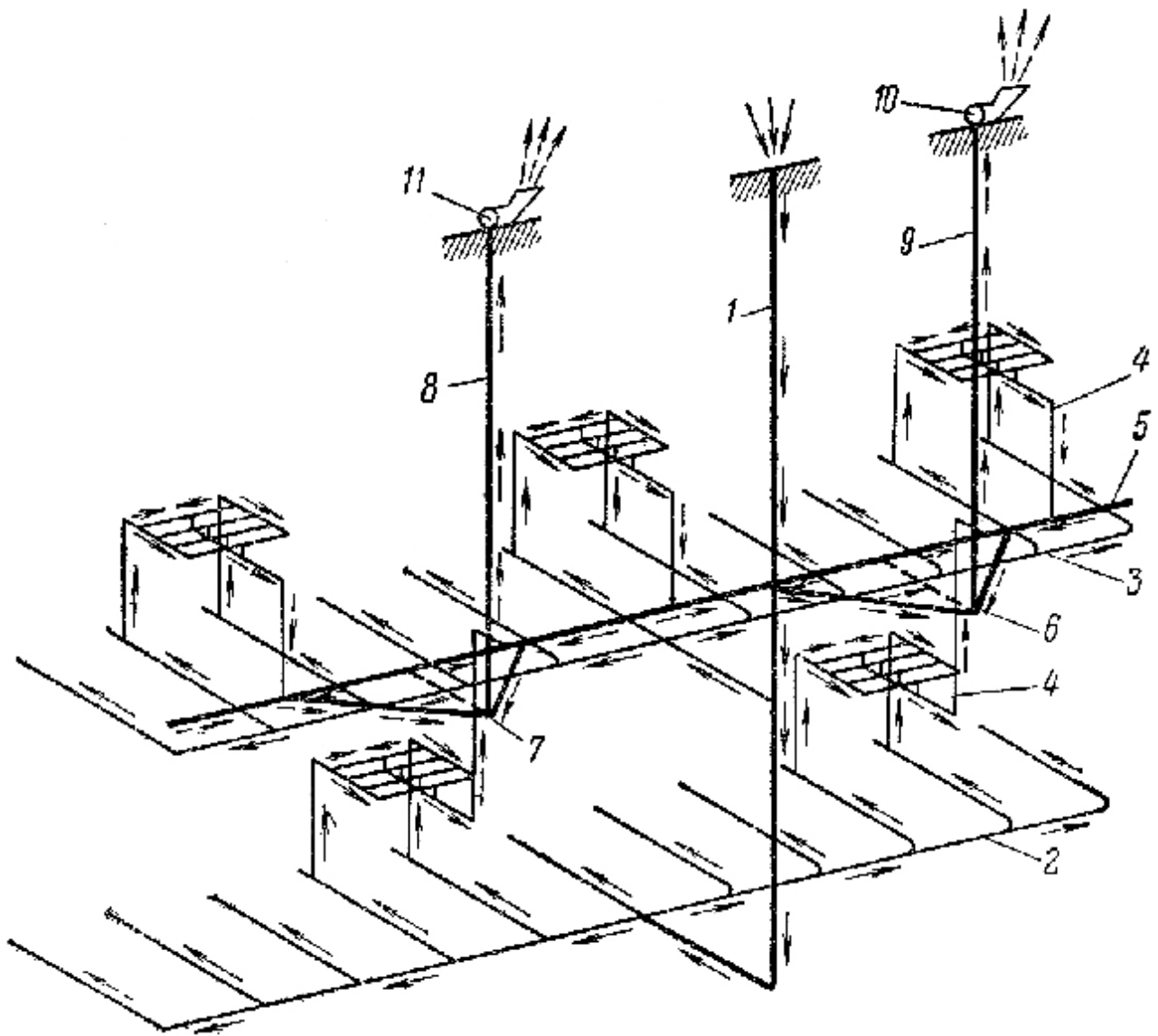


Рис. 2.26. Фланговая схема вентиляции рудников средней производственной мощности с применением одного вентиляционного штрека-коллектора на два рабочих горизонта (второй вариант): 1 – воздухоподающий ствол; 2, 3 – выработки откаточных горизонтов; 4 – блоковые восстающие; 5 – штрек-коллектор; 6, 7 – вентиляционные квершлагги; 8, 9 – вентиляционные стволы; 10, 11 – всасывающие вентиляторы.

Третий вариант (рис. 2.27) рассчитан для вентиляции рудников мощностью менее 2 млн. т в год с шахтным полем длиной 1500 - 2000 м. Схемой предусматривается один штрек-коллектор на два одновременно работающих этажа.

Четвертый вариант (рис. 2.28) схемы предусматривает один штрек-коллектор на два одновременно работающих этажа и применение вспомогательных блоковых вентиляторов. Этот вариант целесообразно применять для шахт средней мощности с шахтным полем длиной 1500 - 2000 м.

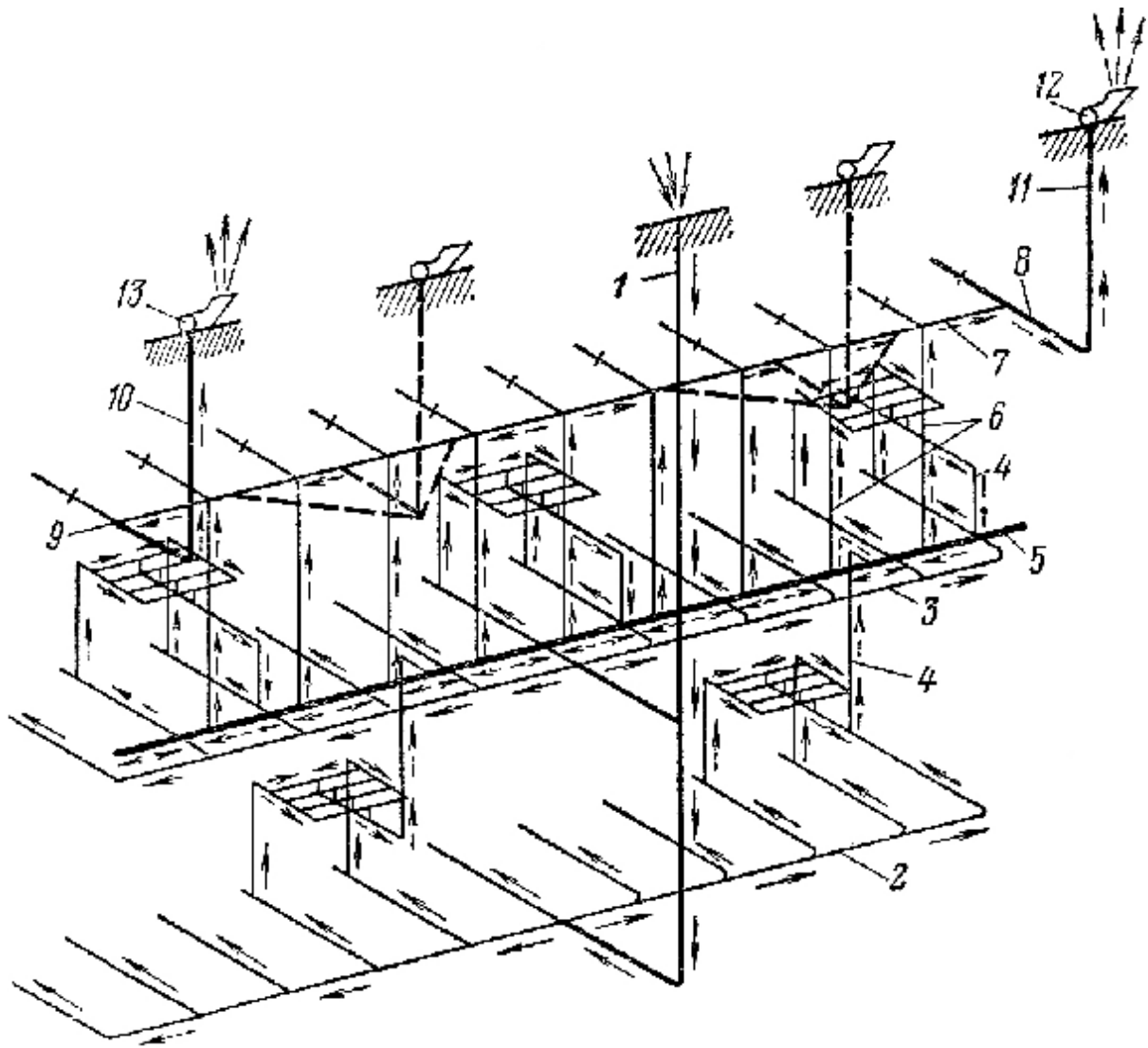


Рис. 2.27. Фланговая схема вентиляции рудников небольшой производственной мощности с применением одного вентиляционного штрека-коллектора на два рабочих этажа (третий вариант): 1 – воздухоподающий ствол; 2, 3 – выработки откаточных горизонтов; 4 – блоковые восстающие; 5 – штрек-коллектор; 6 – вентиляционные восстающие; 7 – штрек вентиляционного горизонта; 8, 9 – вентиляционные квершлагги; 10, 11 – вентиляционные стволы; 12, 13 – вентиляторы главного проветривания.

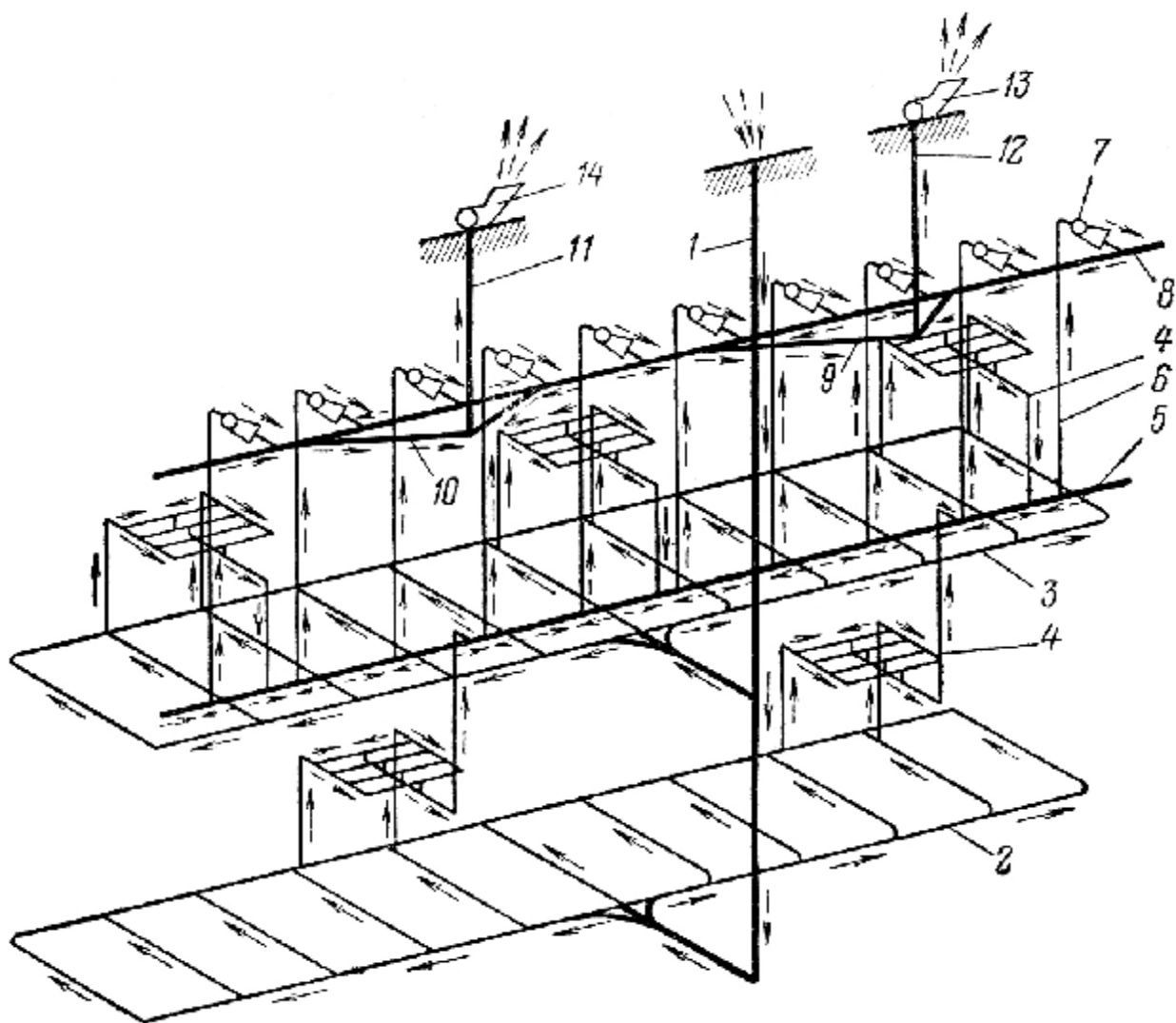


Рис. 2.28. Фланговая схема вентиляции рудников средней производственной мощности с применением вспомогательных вентиляторов и одного вентиляционного штрека-коллектора на два рабочих этажа (четвертый вариант): 1 – воздухоподающий ствол; 2, 3 – выработки откаточных горизонтов; 4 – блок-вентиляционный восстающий; 5 – штрек-коллектор; 6 – вентиляционные восстающие; 7 – вспомогательные вентиляторы; 8 – штрек вентиляционного горизонта; 9, 10 – квершлаг; 11, 12 – вентиляционные стволы; 13, 14 – вентиляторы главного проветривания.

## **РАЗДЕЛ 3. ВЕНТИЛЯЦИЯ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК**

Проветривание тупиковых забоев должно обеспечивать:

- удаление из выработки в расчетное время токсичных газообразных продуктов разложения взрывчатых веществ (ВВ);
- разбавление и удаление из выработок токсичных и взрывчатых газов, выделяющихся из пород и полезного ископаемого;
- создание нормальной температуры воздуха в забое и во всей выработке.
- разбавление пылевого облака и вынос пыли вентиляционной струей.

Проветривание осуществляется за счет совместного действия вентиляторов главного проветривания и естественной тяги, а также местных побудителей вентиляции, вентиляторов местного проветривания (ВМП), эжекторов и т.п. Выработки, проводимые парным забоем, в большинстве случаев проветриваются за счет общешахтной вентиляции и работы ВМП.

При составлении схем проветривания необходимо учитывать требования ПБ: вентилятор местного проветривания должен быть установлен в выработке со свежей струей на расстоянии не менее 10 м от струи, выходящей из устья тупиковой выработки; производительность ВМП не должна превышать 70 % от дебита струи, из которой вентилятор забирает свежий воздух. При проведении выработок на вентиляционном горизонте с разрешения главного инженера шахты допускается установка ВМП на исходящей струе, но при условии, что содержание метана в ней не превышает 0,5%, а содержание токсичных газов находится в пределах установленных санитарных норм.

При проведении горных выработок в угольных шахтах могут быть использованы различные способы и схемы проветривания.

### **3.1. Схемы и способы вентиляции тупиковых выработок.**

#### **3.1.1. Проветривание за счет общешахтной депрессии**

Из известных способов наиболее простым, не требующим больших материальных и трудовых затрат, является проветривание горных выработок за счет общешахтной депрессии. При проветривании за счет общешахтной депрессии упрощается технология доставки воздуха, так как отпадает необходимость в местном проветривании, в оснащении их источниками энергии, монтаже и наращивании вентиляционных трубопроводов. Воздух поступает непосредственно по выработке, или же выработка делится на два отделения с применением парусов, перегородок и пр.

Проветривание с помощью парусов широко применяется в США и ЮАР. На шахтах Англии и ФРГ за счет общешахтной депрессии проветриваются прилегающие к лавам подготовительные выработки, проводимые одновременно с подвиганием очистных забоев.

В нашей стране на угольных шахтах проветривание тупиковых горных выработок за счет общешахтной депрессии с помощью навески парусов или

возведения перегородок разрешается при длине тупиковой части выработок не более 60 м.

В настоящее время преобладающим способом вентиляции тупиковых выработок является проветривание с помощью ВМП.

### 3.1.2. Нагнетательный способ проветривания тупиковых выработок

Преимущественное распространение в нашей стране и во многих других странах получил нагнетательный способ проветривания с использованием гибких вентиляционных труб и вентиляторов местного проветривания (рис. 3.1).

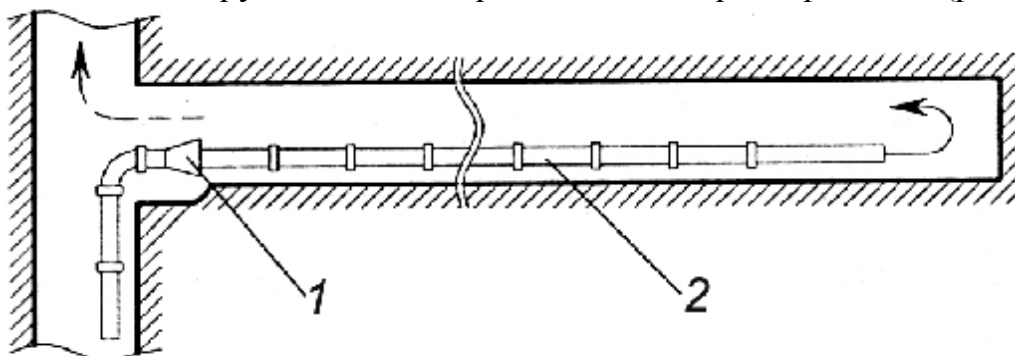


Рис. 3.1. Схема нагнетательного проветривания тупиковой выработки:  
1 – нагнетательный вентилятор; 2 – нагнетательный трубопровод.

Нагнетательный способ применяется в выработках, где из стенок, кровли или почвы выделяются горючие или ядовитые газы, а также обескислороженный воздух. В остальных случаях можно применять любой способ проветривания.

Достоинства этого способа заключаются в интенсивном перемешивании воздуха в призабойном пространстве и разбавлении его свежим воздухом поступающим из конца воздухопровода. Исходящая из забоя струя выходит по выработке к устью, захватывая по пути все вредные и взрывчатые газообразные примеси, выделяющиеся из стенок, кровли и почвы выработки. К достоинствам следует отнести и то, что возможно применение гибких (матерчатых прорезиненных и иных) трубопроводов, удобных в эксплуатации.

Основной недостаток способа – загазирование всей выработки и необходимость постепенного разбавления этих газов до санитарных норм, что при большом объеме (длине) выработок требует установки вентиляторов значительной производительности и труб большого диаметра.

При нагнетательной вентиляции с помощью ВМП в выработке могут существовать три зоны вынужденного движения воздуха с различной аэродинамической структурой (рис. 3.2): *I* - зона вихревого движения; *II* - зона действия струи ВМП; *III* - зона поступательного движения.

*I* зона существует при значительном расстоянии конца трубопровода от забоя. В этом случае частично ограниченная струя, выходящая из трубопровода, отражается от заполняющих *I* зону масс воздуха и поворачивает в направлении к устью выработки. При повороте она увлекает пограничные массы воздуха в *I*

зоне, приводя их в циркуляционное движение: образуется первый (считая от зоны действия струи) вихрь в *I* зоне. Если этот вихрь не заполняет всю длину *I* зоны, за ним может образоваться второй вихрь и т.д. Таким образом, воздух в *I* зоне находится в упорядоченном циркуляционном движении, формируемом пространственными вихрями. Наиболее крупные из них имеют размер порядка диаметра выработки. Пространство между крупными вихрями заполняется более мелкими вихрями. Источником энергии, приводящим в движение воздух в *I* зоне, является кинетическая энергия струи ВМП, механизм ее передачи – трение между слоями воздуха на границе *I* и *II* зон. Аналогично передается энергия от первого вихря ко второму и т.д., и от крупных вихрей к вихрям более мелким. Вследствие малой внутренней вязкости воздуха взаимодействие между струей ВМП и первым вихрем будет слабым, а передача энергии от свободной струи к вихрю небольшой. По этой же причине энергия следующих вихрей будет также мала, уменьшаясь по мере удаления от источника энергии - вентиляционной струи ВМП.

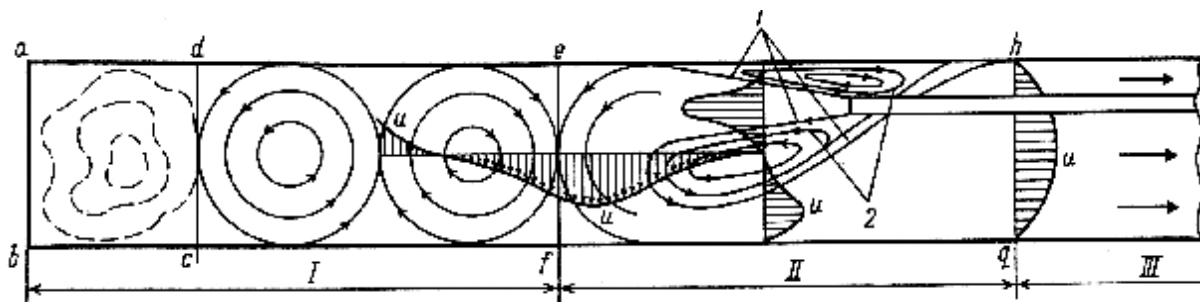


Рис. 3.2. Схема аэродинамических зон в тупиковой выработке при нагнетательной вентиляции: *I*, *II*, *III* – аэродинамические зоны; 1 – граница ядра постоянной массы; 2 – присоединенные массы.

Уменьшение энергии вихрей в направлении к забою означает уменьшение интенсивности циркуляционного движения. В конечном итоге энергии последнего вихря может оказаться недостаточно для создания организованного движения воздуха за ним; в результате пространство между этим вихрем и забоем заполнится практически неподвижным воздухом (застойная область *abcd* на рис. 3.2). Коэффициент использования воздуха в активной зоне смещения при нагнетательном способе проветривания достигает 0,8...1,0.

Созданию благоприятной по газу обстановки в забое способствует также то, что метан, выделяющийся с обнаженных поверхностей угольного пласта (стенок выработки), удаляется с мест его выделения непосредственно в сторону устья проветриваемой выработки, т. е. исключается возможность его поступления в забой.

Дальнейший процесс проветривания длинных тупиковых выработок при нагнетании в них свежего воздуха по трубопроводу заключается в непрерывном растяжении и деформации газовой волны по выработке за счет поступления новых порций воздуха (рис. 3.3).

По мере подвигания газовой волны от забоя происходит разжижение газов.

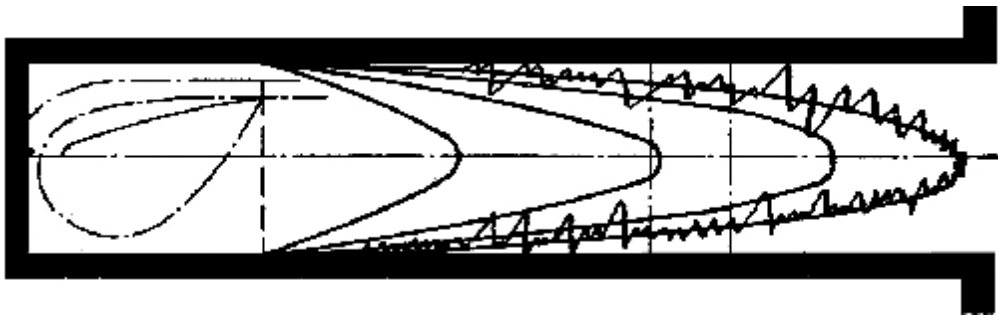


Рис. 3.3. Схема деформации и растяжения газовой волны при нагнетательном проветривании тупиковой выработки.

### 3.1.3. Всасывающий способ проветривания

Всасывающий способ проветривания (рис. 3.4) может применяться, когда из стенок, кровли и почвы выработки не выделяются взрывчатые и ядовитые газы.

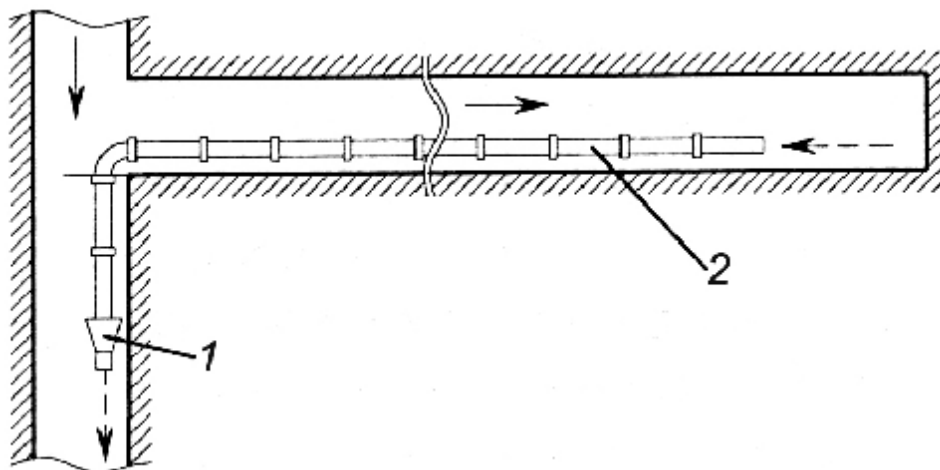


Рис. 3.4. Схема всасывающего проветривания тупиковой выработки: 1 – всасывающий вентилятор; 2 – всасывающий трубопровод.

Достоинства этого способа заключаются в том, что высасываемый из призабойного пространства воздух, содержащий продукты разложения ВВ, удаляется по вентиляционным трубам, а по выработке от устья к забою движется свежая струя, поэтому работы могут не прекращаться. В первые минуты проветривание происходит интенсивно вследствие засасывания в трубы воздуха с очень высокой концентрацией ядовитых газов, определяемой количеством взорванного ВВ и объемом зоны отброса газов от забоя. Однако затем интенсивность проветривания снижается вследствие засасывания в трубы относительно чистого воздуха, несмотря на то, что в призабойной части застаивается воздух, содержащий взрывные газы высокой концентрации. Этот способ проветривания очень эффективен в тех случаях, когда конец вентиляционных труб отстоит от забоя на расстояние 2–3 м, но последнее осуществить трудно.

Зависимость эффективности всасывающего проветривания от длины выработки невелика, поэтому данный способ рекомендуется для проветривания выработок большой протяженности.

Основной недостаток способа – невозможность применения гибких трубопроводов. Этот недостаток может быть устранен, если вентилятор устанавливать не в выработке со свежей струей, а непосредственно в тупиковой выработке близ забоя (рис. 3.5). В этом случае трубопровод состоит из отрезка жесткого трубопровода  $l_1$ , наращиваемого по мере проведения выработки, и гибкого трубопровода  $l_2$ . Через некоторое расстояние вентилятор переносят ближе к забою, а часть жесткого трубопровода, оказавшуюся при этом на стороне нагнетания, заменяют гибким. При такой установке вентилятора сочетаются преимущества всасывающего проветривания с возможностью применения гибких трубопроводов.

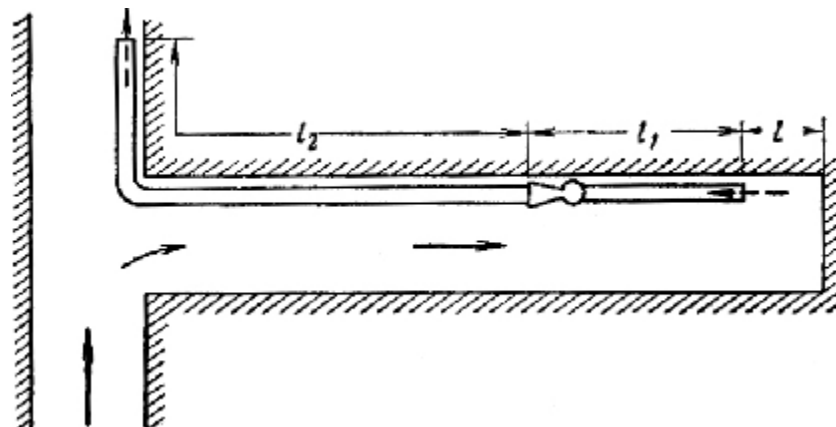


Рис. 3.5. Всасывающее проветривание призабойным вентилятором.

Расчеты показывают, что при этом на участке выработки  $l_2$  в результате утечек воздуха из гибкого трубопровода несколько повышается содержание окиси углерода, но, как показывает практика, концентрация газа по превышает допустимых санитарных норм. Основная часть газов выбрасывается из конца трубопровода в исходящую струю.

С точки зрения борьбы с пылью в подготовительных выработках всасывающий способ проветривания является эффективным, при котором весь загрязненный воздух удаляется из проветриваемой выработки изолированно по трубопроводу, а по всей ее длине в сторону забоя движется свежий воздух. Однако этот способ неприменим в подготовительных выработках с газовыделением, так как движение воздуха в сторону забоя может привести к скоплению всего выделяющегося метана в призабойной части выработки и к ее загазованию. Следует также отметить, что всасывающий способ характеризуется низким коэффициентом использования воздуха (0,08–0,2) из-за ограниченности поля активного воздействия всасывающей воздушной струи (рис. 3.6).

Вследствие разрежения воздуха в трубопроводе за счет действия вентилятора наружный воздух устремляется в трубопровод. В свободном пространстве у всаса создается скоростное поле (спектр скоростей), имеющее круглую шарообразную форму (рис. 3.6). Линиями 1 – 6 показаны поверхности одинаковых скоростей, направленных в сторону входа в трубу. Величина скоростей дана в относительных координатах. Как видно из рисунка, скорость воздуха максимальна у входа в трубопровод. По мере удаления она резко уменьшается и на расстоянии, равном одному диаметру трубы, скорость воздушного потока составляет менее



7% скорости во всасывающем отверстии, а на расстоянии двух диаметров скорость весьма незначительна. Это показывает, что район действия всасывающего отверстия распространяется на небольшое расстояние.

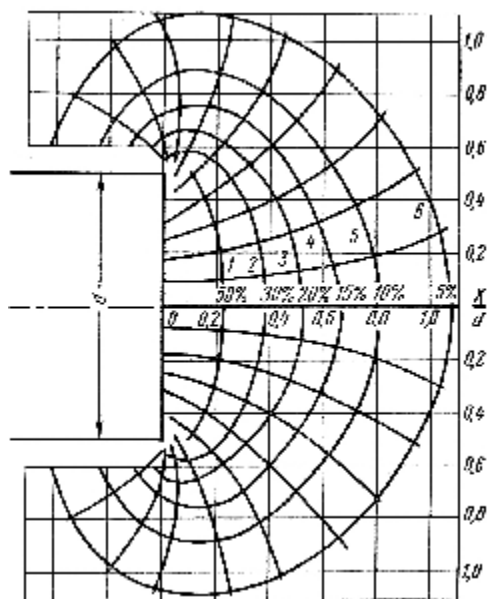


Рис. 3.6. Район действия всасывающего трубопровода

Форма засасываемой струи в условиях проветриваемой выработки изменяется под влиянием близкорасположенных стенок и забоя выработки.

Наряду с процессами всасывания на размыв газового облака в выработке действует диффузия. Газы из области с большой концентрацией перемещаются в область с меньшей концентрацией. Взаимодействие этих двух факторов (всасывание и диффузия) вызывает очищение призабойного пространства от газов.

Отсасывание газов по вентиляционным трубам происходит главным образом за счет турбулентной, деформации, т. е. за счет растяжения газовой волны по длине выработки вследствие неравномерности скоростей ее по поперечному сечению выработки.

При данном способе проветривания для эффективного вымывания, газов от забоя расстояние от конца трубопровода до забоя не должно превышать  $0,51\sqrt{S}$  м ( $S$  – сечение выработки). При большем расстоянии у забоя может образоваться труднопроветриваемая зона.

При всасывающей вентиляции в тупиковой выработке также можно выделить три аэродинамические зоны (рис. 3.7): *I*-зона вихревого движения, *II* - зона действия всасывающего отверстия трубопровода, *III* - зона поступательного движения.

*I* зона подобна аналогичной зоне при нагнетательной вентиляции. Отличие заключается в основном в низком энергетическом уровне движения в этой зоне, что обусловлено в свою очередь невысокой энергией движения во *II* зоне. Кроме того, объемный характер засасывания воздуха в трубопровод может препятствовать образованию единого вихря в *I* зоне. Отмеченные особенности определяют малую вероятность упорядоченного вихревого движения в этой зоне.

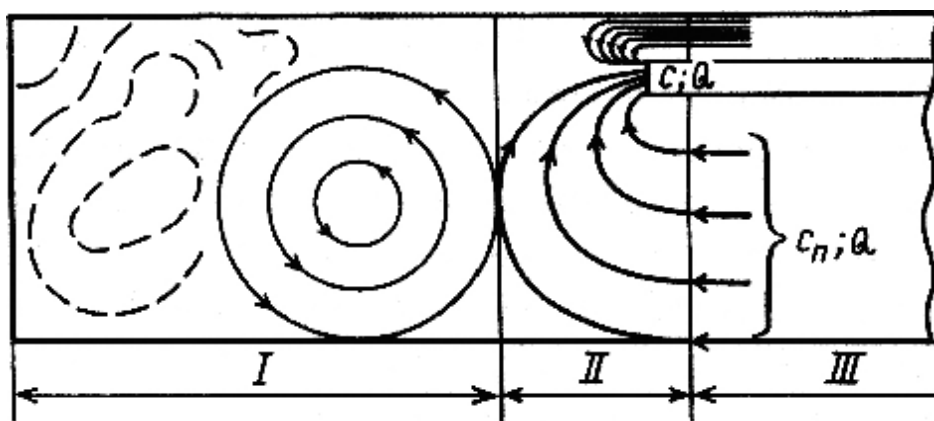


Рис. 3.7. Схема аэродинамических зон в тупиковой выработке при всасывающей вентиляции: *I*, *II*, *III* - аэродинамические зоны

*II* зона - это область ограниченного потока, возмущенная действием стока - всасывающего отверстия вентиляционного трубопровода. Движение в этой области характерно искривлением линий тока, ранее прямолинейных, и стягиванием их к отверстию трубопровода. Поперечное сечение потока по направлению его движения уменьшается от сечения выработки до сечения трубопровода, в соответствии с чем скорости движения воздуха по мере приближения к трубопроводу возрастают.

*III* зона - это зона ограниченного потока, не отличающаяся от подобной зоны при нагнетательной вентиляции.

Наблюдения на модели показывают, что форма вихрей в *I* зоне может быть круглая, вытянутая и даже неправильная. Между вихрями часто располагаются области неупорядоченного движения. При всасывающей вентиляции газоперенос в *I* зоне качественно аналогичен переносу в *I* зоне при нагнетательной вентиляции. Различие может носить лишь количественный характер вследствие меньшей интенсивности движений при всасывающей вентиляции.

Во *II* зоне преобладает конвективный перенос газа в направлении основного движения, усиливающийся по мере приближения к устью трубопровода. Вследствие невысоких скоростей движения в этой зоне интенсивность турбулентного переноса здесь низка. Соответственно возрастает роль молекулярного переноса и процесса вытеснения. Эти три вида переноса обеспечивают поступление газа во *II* зону из *I* зоны, а также со стенок выработки в пределах *II* зоны, если они являются газоотдающими. Во *II* зоне будет проявляться также и центробежный эффект, способствуя переносу легкого газа к устью трубопровода и затрудняя перенос в этом направлении тяжелого газа.

*III* зона - зона ограниченного потока. Преобладающие виды переноса в ней - конвективный (в направлении движения) и турбулентный (в поперечном направлении). Роль остальных видов переноса та же, что в аналогичной зоне при нагнетании. Максимальные содержания переносимого газа в этой зоне обычно наблюдаются у стенок - как при непрерывном газовыделении со стенок, так и при периодических газовыделениях, что объясняется малыми скоростями (расходами) воздуха в пристеночных областях выработки. Движущийся по *III* зоне воздушный поток будет прижимать к забою объем газа, если таковой ока-

зывается выброшенным в эту зону, что, например, часто имеет место при взрывных работах. Вследствие различия скоростей движения воздуха в поперечном сечении III зоны центральная часть загазированного объема будет перемещаться к отверстию трубопровода быстрее, периферийные (пристеночные) области будут отставать. В результате свободная граница загазированного объема будет трансформироваться в воронку, заполненную чистым воздухом, вне которой располагаются загазированные участки потока.

### 3.1.4. Комбинированный способ проветривания.

Комбинированное проветривание может осуществляться одним вентилятором (рис. 3.8), работающим после взрывания ВВ на всасывание, а затем переключаемым на нагнетание. На расстоянии от забоя, не более 50 м, устанавливается перемычка. Достоинство такого способа проветривания заключается в том, что за время всасывающей работы вентилятора, определяемое расчетом, по вентиляционным трубам выносятся основная масса ядовитых газов, а за последующее время (режим нагнетания) газы, в небольшом количестве оставшиеся в призабойном пространстве, рассредоточиваются по части выработки, прилегающей к забою, не доходя до ее устья, вследствие чего исключается рециркуляция воздуха. Недостаток способа – необходимость применения жесткого трубопровода и реверсии вентилятора, что усложняет его установку.

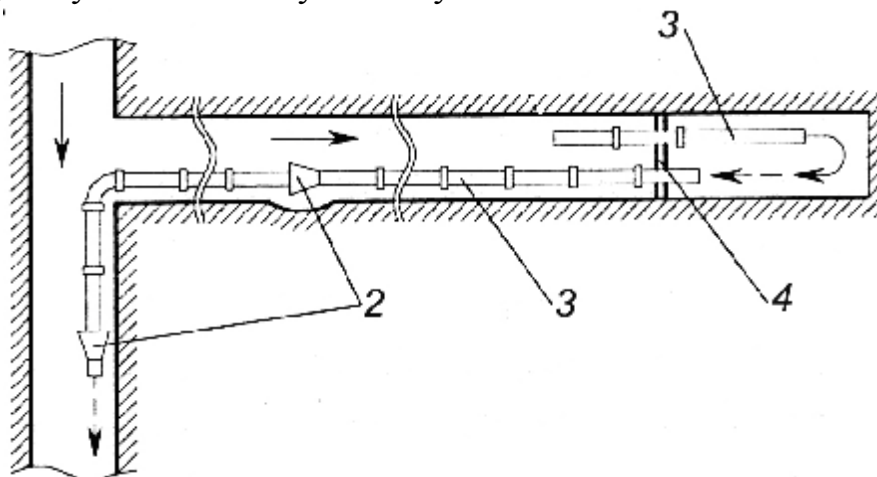


Рис. 3.8. Комбинированное проветривание одним вентилятором и перемычкой

Комбинированное проветривание двумя вентиляторами с перемычкой (рис. 3.9) или без перемычки заключается в том, что основной вентилятор, устанавливаемый в устье выработки, работает на всасывание, а вспомогательный, меньшей производительности, работает в нагнетательном режиме и предназначен для перемещения воздуха в заперемыченном пространстве или, при работе без перемычки, в пространстве, определяемом зоной активного действия вспомогательного вентилятора, с тем, чтобы ядовитые газы были распределены по этому объему как можно равномернее.

Достоинство такого способа проветривания заключается в том, что выработка заполнена свежим воздухом, проветривание осуществляется быстро, что

позволяет использовать этот способ при большой длине выработок, применяя относительно небольшие вентиляторы, а также при скоростных проходках. Для подготовительных выработок, в которых имеет место метановыделение, возможно применение нагнетательно-всасывающей схемы проветривания, комплексно учитывающей пылевой, газовый и другие факторы. До последнего времени нагнетательно-всасывающие схемы комбинированного способа проветривания не применялись из-за отсутствия технических средств для осуществления этого способа. В настоящее время с освоением выпуска пылеулавливающих агрегатов серии ППУ, стала возможной реализация различных нагнетательно-всасывающих схем комбинированного проветривания.

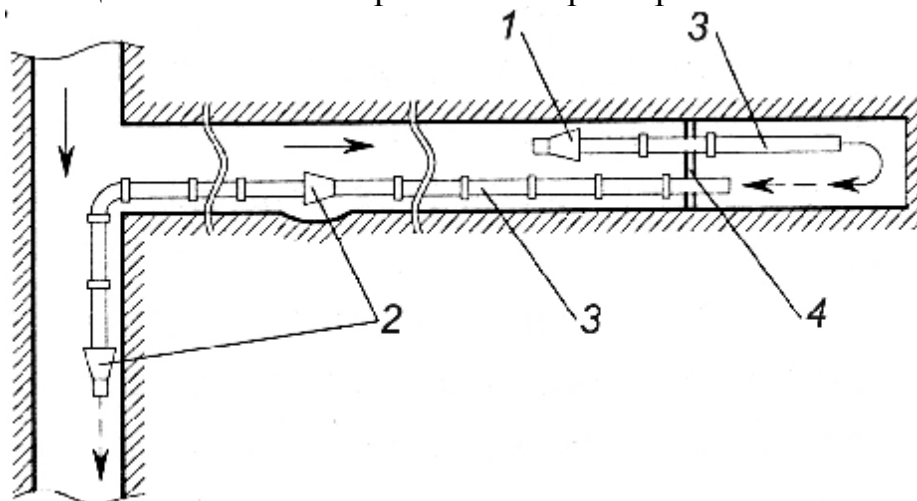


Рис. 3.9 – Комбинированное проветривание двумя вентиляторами с перемычкой: 1 – нагнетательный вентилятор; 2 – всасывающий вентилятор; 3 – трубопроводы; 4 – перемычка.

Для проветривания подготовительных выработок, проводимых по газоносным угольным пластам, предложена схема (рис. 3.10). Она предусматривает подачу свежего воздуха с нагнетательной установки в два пункта: непосредственно в призабойное пространство  $Q_1^I$ , и в зону расположения пылеулавливающего агрегата  $Q_3$ .

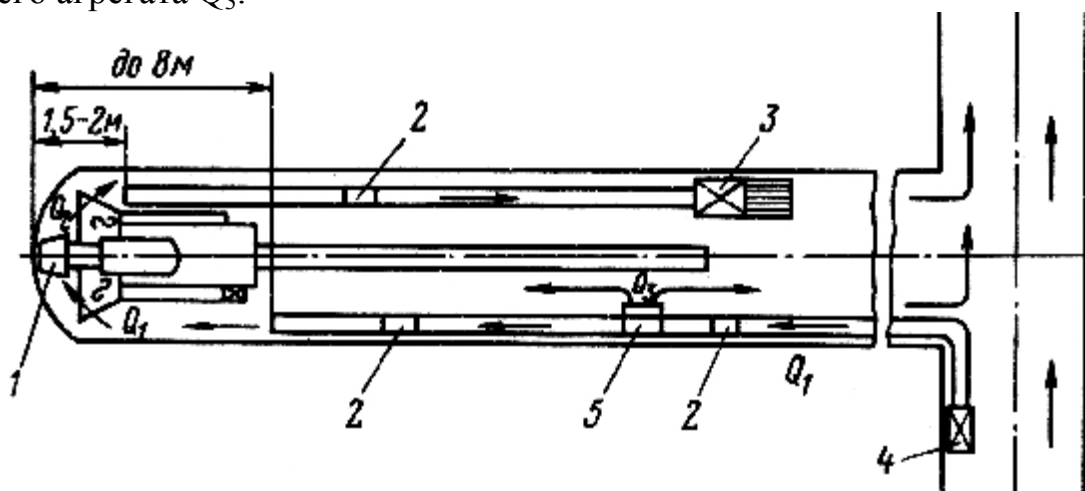


Рис. 3.10. Схема нагнетательно-всасывающего проветривания: 1 – комбайн; 2 – датчик контроля воздуха; 3 – пылеулавливающая установка; 4 – ВМП; 5 – воздуховыпускной клапан

Рекомендуется следующее соотношение расходов воздуха

$$Q_1 \gg Q_2 \gg Q_1'$$

где  $Q_1$  - общее количество воздуха, поступающего по нагнетательному трубопроводу перед впускным клапаном;

$Q_2$  - количество воздуха, отсасываемого пылеулавливающим агрегатом;

$Q_1'$  - количество воздуха, поступающего в забой по нагнетательному трубопроводу.

При небольшой газообильности выработки возможен вариант  $Q_2 > Q_1 > Q_1'$ , который предусматривает частичное поступление очищенного пылеулавливающей установкой воздуха в призабойное пространство.

Следует отметить, что при  $Q_3 > Q_1'$  сохраняются допустимые скорости движения воздуха в призабойной части выработки и требуемый «подпор» в сторону забоя. В этом случае атмосфера в призабойной зоне характеризуется высокими турбулентными свойствами. Если  $Q_3 < Q_1'$ , то на участке выработки между концом нагнетательного трубопровода и воздуховыпускным клапаном может иметь место недопустимо малая скорость движения воздуха. Следовательно, необходимо соблюдать соотношение расходов воздуха.

## **3.2. Вентиляционное оборудование для проветривания тупиковых выработок**

### **3.2.1. Вентиляторы местного проветривания.**

Для проветривания тупиковых выработок, как правило, используются осевые вентиляторы местного проветривания с электрическим и пневматическим приводами. Наибольшее применение нашли осевые вентиляторы СВМ-4М, СВМ-5, СВМ-6М, ВМ-3М, ВМ-4М, ВМ-5М, ВМ-6М, ВМ-8М, ВМ-12М (цифра означает размер входного и выходного патрубков в дециметрах).

Подача вентилятора регулируется с помощью направляющего аппарата с резиновыми профилированными лопатками, которые поворачиваются специальным механизмом на угол от  $+45^\circ$  до  $-50^\circ$ . Двигатели этих вентиляторов изготавливаются также во взрывобезопасном исполнении, что позволяет применять их в шахтах, опасных по газу и пыли.

Вентиляторы ВМП-3М, ВМП-4; ВМП-5М, ВМП-6М (с пневматическим приводом) предназначены для проветривания тупиковых выработок в шахтах, опасных по внезапным выбросам угля и газа и суфлярным выделениям.

Подача вентиляторов типа ВМП регулируется с помощью сопел, подающих сжатый воздух на лопатки пневматического привода.

Для проветривания шахтных стволов, околоствольных выработок и выработок большой длины в период проходки используются осевые вентиляторы с рабочим колесом большого диаметра (центробежные вентиляторы ВЦПД-8, ВЦП-16, ВЦ-7, ВМЦ-8 и вентиляторы типа ВЦО). Вентилятор ВЦПД-8 с двухсторонним всасом имеет направляющий аппарат и ступенчатое переключение электродвигателя. Вентилятор ВЦП-16 имеет односторонний всас и работает с низким уровнем шума. Его подача регулируется на ходу механизмом одновре-

менного поворота лопаток направляющего аппарата. Вентилятор ВЦ-7 одностороннего всасывания в отличие от большинства центробежных вентиляторов имеет прямоочное движение воздушного потока. Он удобно монтируется без устройства специальных ниш для его расположения. Подача современных центробежных вентиляторов местного проветривания достигает  $30 \text{ м}^3/\text{с}$ , а депрессия – 600 даПа.

Для повышения надежности проветривания выработок в последние годы широко применяется так называемое резервирование системы местного проветривания. Оптимальным считается вариант, когда предусмотрен наряду с основным дополнительный резервный вентилятор местного проветривания, работающий (при отказе основного) на тот же став и питаемый от отдельной участковой подстанции. Для соединения рабочего и резервного вентиляторов с трубопроводом применяются металлические тройники с перекидным клапаном или отрезки гибких труб. В случае подсоединения вентиляторов к тройнику клапан свободно перемещается внутри камеры тройника за счет давления воздуха основного вентилятора, прижимается к патрубку резервного вентилятора и перекрывает его отверстие. При включении резервного вентилятора клапан перекрывает патрубок основного вентилятора. В случае соединения вентиляторов с помощью отрезков гибких труб при включении основного или резервного вентилятора соответствующий отрезок трубы наполняется воздухом, а второй отрезок трубы отжимается и перекрывает вход отрезка трубопровода выключенного вентилятора.

Тупиковые выработки большой длины проветриваются с использованием:

- одного вентилятора, работающего на общий трубопровод (для этого используется трубопровод диаметром  $> 1 \text{ м}$  либо вентилятор подключается с помощью тройника к двум параллельным трубопроводам с целью подачи в забой необходимого количества воздуха);
- каскадной установки вентиляторов (по мере проведения выработки в начале трубопровода устанавливается несколько вентиляторов один за другим (рис. 3.11, а));
- рассредоточенной установки вентиляторов (см. рис. 3.11, б);
- установки вентиляторов в шлюзовых камерах (см. рис. 3.11, в).

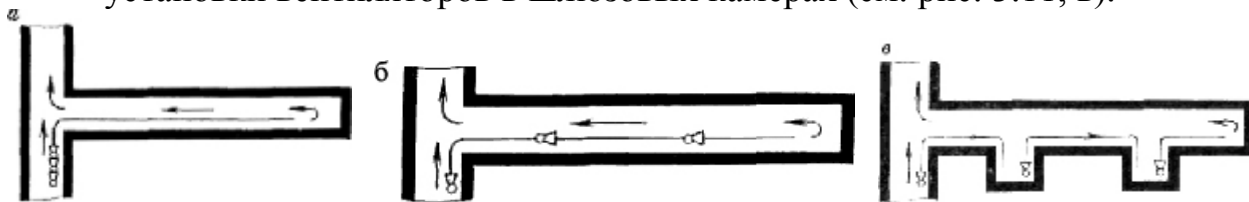


Рис. 3.11. Проветривание несколькими вентиляторами выработок большой длины

Проветривание с помощью одного вентилятора применяется при проведении выработок большого сечения, когда возможно разместить в выработке трубопровод большого диаметра. В этом случае, как правило, используются металлические трубы. Каскадная установка вентиляторов чаще применяется на газовых угольных и рудных шахтах. Все вентиляторы и пусковая аппаратура

устанавливаются в выработке со свежей струей, что обеспечивает простоту подвода энергии и большую безопасность. При этом из-за большого давления в трубопроводе достигается хорошее самоуплотнение стыков труб, в результате чего уменьшаются утечки воздуха и аэродинамическое сопротивление за счет лучшего распрямления стенок труб.

### 3.2.2. Вентиляционные трубы

На угольных и рудных шахтах применяются как жесткие, так и гибкие трубы.

Жесткие трубы выполняются из металла и синтетических материалов (иногда из дерева). Жесткие трубы обладают большой прочностью, длительным сроком службы и применяются как при нагнетательном, так и при всасывающем проветривании. К недостаткам жестких труб следует отнести большую массу, трудность транспортирования, относительно большое число стыков, что усложняет монтаж и приводит к большим утечкам воздуха. Металлические трубы изготавливаются из листовой стали толщиной 2 и 2,5 мм. Звенья труб имеют длину 2,5–4 м и диаметр 0,3–1 м и более. Звенья труб соединяются между собой фланцевым болтовым соединением с прокладкой в стыке. В качестве прокладки применяется картон, пропитанный маслом, и листовая резина. Масса 1 м металлических труб изменяется в пределах 24–70 кг. Срок службы равен 24 и 36 мес соответственно в обводненных и сухих выработках.

Гибкие трубы используются при работе вентилятора в нагнетательном режиме. Гибкие трубы со спиральными кольцами жесткости могут быть использованы при работе вентилятора в нагнетательном и всасывающем режимах. На угольных и рудных шахтах используются гибкие трубы типов МУ (из хлопчатобумажной ткани чефер с двусторонним покрытием из негорючей резины, ПХВ (из ткани чефер с полихлорвиниловым двусторонним покрытием), ГНР и ЧЛХР (из комбинированной ткани, состоящей из лавсана и хлопка с резиновым двусторонним покрытием), ЧЛХВ (из лавсанохлопковой ткани с полихлорвиниловым покрытием) и ЧЛВУ (из ткани, содержащей углен, обладающий антистатическим свойством). Диаметр труб 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1 м. Длина основного рабочего звена равна 10 и 20 м соответственно для труб диаметром 0,8 и >0,8 м. Разменные звенья выпускаются длиной 5 и 10 м. Звенья соединяются пружинящими стальными кольцами и хомутами. При включении вентилятора стык самоуплотняется. При малом давлении воздуха стенки гибкого трубопровода провисают, на них образуются складки, что вызывает увеличение аэродинамического сопротивления трубопровода. Масса 1 м трубы составляет 1,3–2,3 кг. Нормированный срок службы различных типов трубопроводов изменяется в пределах 16...28 и 14...26 мес соответственно в сухих и обводненных выработках, в сырых – от 14 до 26 мес. При нарушении режима эксплуатации трубопроводов срок их службы уменьшается в 2 раза и более.

Текстовинитовые трубы имеют одностороннее или двустороннее покрытие из полихлорвиниловой пластмассы, которая обеспечивает воздухо непроницаемость. Текстовинитовые трубы обладают малой массой и высокой анти кор-

розийностью. Масса 1 м трубы в зависимости от диаметра колеблется от 2,4 до 3,4 кг. Срок службы 12–15 мес в сырых и 24–30 мес в сухих выработках. Коэффициент аэродинамического сопротивления составляет при диаметре 0,5 м – 0,0016; 0,6 м – 0,0015; 0,7 м – 0,0013; 0,8 м – 0,0013.

Пластикатные трубы изготавливаются из пластиката на основе полихлорвинилового смолы. Листы пластиката накладываются друг на друга и свариваются. Сварка ведется с двух сторон, что обеспечивает высокую герметичность. Соединяются звенья труб между собой металлическими муфтами или кольцами.

Стеклопластиковые трубы обладают высокой прочностью, малым аэродинамическим сопротивлением и большим сроком службы.

В соответствии со стандартом трубы выпускаются трудногорючие и горючие.

Гибкие трудногорючие трубы имеют полимерное покрытие и предназначены для применения в шахтах, опасных по газу и пыли. Они выдерживают статическое давление до 1000 даПа.

Горючие трубы предназначены для применения в шахтах, не опасных по газу и пыли. Они выдерживают статическое давление до 500 даПа.

Вентиляционные трубопроводы характеризуются аэродинамическим сопротивлением и воздухопроницаемостью. Аэродинамическое сопротивление трубопровода ( $\text{Нс}^2/\text{м}^8$ ) определяют по формулам:

$$R = \alpha P_T L_T / S_T^3 \quad \text{или} \quad R = 6,45 \alpha L_T / d_T^5$$

где  $\alpha$  – коэффициент аэродинамического сопротивления,  $\text{Нс}^2/\text{м}^4$ ;

$L_T$  – длина трубопровода, м;

$P_T$  – периметр трубопровода, м;

$S_T$  – площадь поперечного сечения трубопровода,  $\text{м}^2$ ;

$d_T$  – диаметр трубопровода, м.

Коэффициент аэродинамического сопротивления зависит от шероховатости и диаметра труб, а также от степени натяжения стенок (для гибких труб).

Для металлических труб  $\alpha = 0,0025 \dots 0,0037$ , для гибких труб типа МУ  $\alpha = 0,0046 \dots 0,0048$ . Аэродинамическое сопротивление гибких и жестких труб характеризуется данными, приведенными в таблицах. При ухудшении качества монтажа трубопроводов аэродинамическое сопротивление возрастает. При недостаточном статическом давлении гибкие трубопроводы провисают, что также ведет к увеличению аэродинамического сопротивления. При слабом натяжении труб аэродинамическое сопротивление при расчетах следует увеличивать на 25 %.

Утечки воздуха в трубопроводах оцениваются коэффициентом потерь (равным отношению дебита в начале трубопровода или дебита вентилятора к количеству воздуха, доходящему до конца трубопровода) и коэффициентом доставки (величина, обратная коэффициенту потерь). Для металлических трубопроводов коэффициент доставки определяется по формуле



$$\eta = \frac{1}{\left( \frac{1}{3} k_B d_T \frac{L_T}{l_{зТ}} \sqrt{R} + 1 \right)^2}$$

где  $k_B$  - коэффициент удельной стыковой воздухопроницаемости (принимается равным 0,0025...0,003 и 0,001...0,002 соответственно при удовлетворительном и хорошем качестве сборки трубопровода);

$l_{зТ}$  - длина звена трубопровода, м.

Значения коэффициента  $\eta$  для труб типа МУ приведены в таблицах.

При расчетах гибких трубопроводов большой длины для первых 20 стыков труб можно принимать утечки воздуха, равные 1 % на каждый стык, а для последующих стыков – 0,5 %.

Значения коэффициентов доставки для текстуровитовых труб приведены в таблицах.

### 3.2.3. Вставки в трубопроводы

На пути от вентилятора к забою тупиковой выработки в зависимости от воздухопроницаемости трубопровода теряется большая или меньшая часть воздуха. В ряде случаев утечки значительно превышают нормативные и до забоя при длине выработки порядка 1000 м доходит только часть подаваемого в трубопровод воздуха. С целью уменьшения шероховатости и воздухопроницаемости гибких и жестких труб в них рекомендуется помещать тонкостенные эластичные полиэтиленовые трубы немного меньшим диаметром, чем диаметр основного трубопровода. Под действием статического напора вентилятора полиэтиленовые трубы распрямляются и делают внутреннюю поверхность трубы гладкой, что обеспечивает уменьшение сопротивления трубопроводов в 2–3 раза, а утечки воздуха почти исключаются. Если учесть, что утечки в трубопроводах обусловлены не только воздухопроницаемостью самой ткани, но в значительной степени определяются воздухопроницаемостью швов и стыков звеньев, то становится очевидным, что помещая в трубопровод синтетический рукав, перекрывающий внутреннюю поверхность и стыки, можно существенно уменьшить утечки воздуха и аэродинамическое сопротивление трубопровода.

Синтетические рукава под наружную оболочку трубопровода вводятся непосредственно в выработку. В процессе работы наращивание рукава ведется через каждые 100–200 м по мере проведения подготовительной выработки и удлинения вентиляционного става.

### 3.2.4. Пускорегулирующие устройства

Во избежание разрыва гибкого трубопровода при пуске ВМП комбинированный трубопровод допускается применять только совместно со специальным пускорегулирующим устройством, обеспечивающего плавное нарастание давления и расхода воздуха в трубопроводе при пуске вентилятора местного про-

ветривания. Для надежного проветривания тупиковой выработки аппаратура, обеспечивающая плавность нарастания давления и расхода воздуха при пуске ВМП, должна быть возможно проще и допускать обслуживание лицами, имеющими сравнительно невысокую квалификацию.

Известен ряд схем дросселирующих устройств, как то: шибер, мотыльковый (или лепестковый) дроссель, лепестковая диафрагма, двойная сетка, жалюзийная решетка, передвижной конус. Каждая из этих схем характеризуется определенной плавностью изменения сопротивления, величиной аэродинамического сопротивления при полном открытии, габаритными размерами, сложностью изготовления. Наиболее приемлемой является схема дроссельного устройства с заслонкой (рис. 3.12). Такая схема обладает хорошей регулирующей способностью, достаточно проста, а управление ее работой легко автоматизировать. Принцип автоматического управления работой устройства заключается в использовании напора, создаваемого работающим вентилятором, для наполнения гибкой камеры, которая по мере наполнения воздухом медленно поднимает заслонку, открывая при этом путь воздушному потоку в гибкий трубопровод без опасного для его целостности темпа нарастания давления и расхода воздуха.

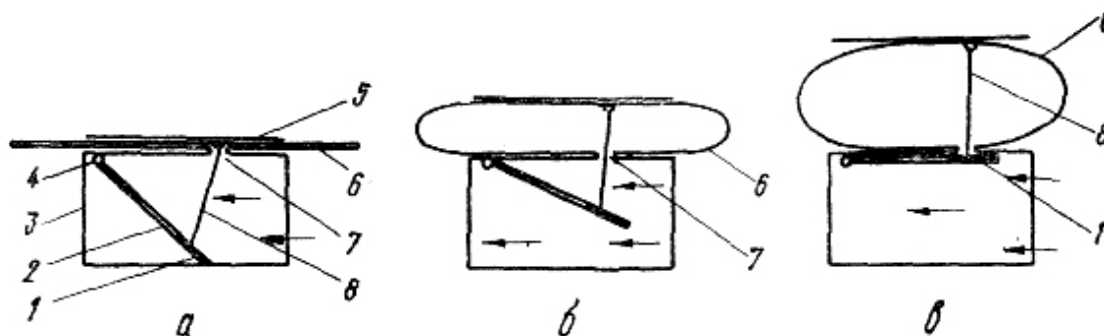


Рис. 3.12. Принципиальная схема устройства для предохранения гибких вентиляционных труб от механических повреждений при пуске вентилятора:

а – начальное положение; б – промежуточное положение; в – конечное положение (заслонка открыта полностью)

При остановке вентилятора давление в гибкой камере окажется большим, чем в корпусе, и воздух начнет перетекать из камеры в корпус. В результате заслонка под действием силы тяжести будет опускаться, т. е. двигаться к своему первоначальному положению «Закрывается». Т.о. работой устройства управляет движущийся от ВМП поток воздуха. Основные элементы устройства – это корпус 3, в котором на шарнире 4 закреплена заслонка 1 с дроссельным отверстием 2, гибкая камера 6, верхнее основание 5 и гибкая тяга 8. В нижнем основании камеры и верхней стенке корпуса дроссельное отверстие 7. Тяга закреплена одним концом к заслонке, поставленной под острым углом к воздушному потоку, а другим - к основанию гибкой камеры.

На практике схема устройства несколько сложнее и включает ряд несложных приспособлений, позволяющих осуществлять некоторые технологические операции, обеспечивающие технологичность и надежность работы всего устройства в целом.

Пускорегулирующее устройство должно монтироваться в установке местного проветривания за вентилятором через переходной гибкий патрубком. После окончания монтажа устройство должно подвергаться регулировке.

### 3.2.5. Способы и средства повышения эффективности вентиляции

Для борьбы с опасными скоплениями метана в подготовительных выработках могут использоваться способы и средства влияющие на качественную структуру воздушных потоков в подготовительной выработке.

Вентиляционные потоки представляют собой турбулентные воздушные течения, которые характеризуются не только поступательным перемещением вдоль основного направления, но и нестационарным хаотическим поперечным перемещением слоев, приводящим к постоянному изменению во времени его точечных характеристик (скорости, давления, температуры). Следовательно, искусственное изменение аэродинамической структуры воздушного потока, движущегося по выработке, придание ему более высоких турбулентных свойств является эффективным средством проветривания. В этой связи представляет интерес пульсирующий способ проветривания подготовительной выработки (рис. 3.13), заключающийся в подаче воздуха в забой по трубопроводу вентилятором в непрерывном импульсном режиме. Такой режим подачи воздуха может быть осуществлен последовательным включением на каком-то конечном отрезке вентиляционного трубопровода специального прерывателя воздушного потока, который циклически «запирает» и аккумулирует в канале трубопровода воздух для последующего его выброса в призабойное пространство.

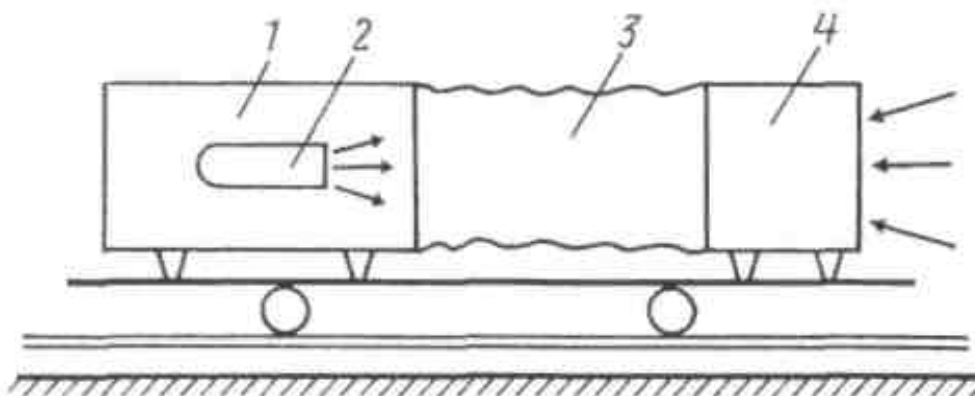


Рис. 3.13. Установка для пульсирующей вентиляции:

1 - пульсатор; 2 - выпускной патрубок пульсатора; 3 - воздухопровод; 4 - вентилятор

Массообмен в выработке будет представлять собой движущийся под действием пульсирующей силы воздушный поток, в котором распространяются следующие один за другим импульсы, создающие градиенты давления и скорости. При прохождении очередного такого импульса в каждой точке воздушного потока, происходит ускорение частиц, а после прохождения импульса - их торможение, вследствие чего создаются условия для вихреобразования. Таким образом, если при обычном нагнетательном способе проветривания вихри с

большим масштабом турбулентности образуются только на границах с шероховатыми стенками выработки, то при пульсирующем способе образование таких вихревых масс будет наблюдаться по всему сечению потока, а это приведет к более интенсивному смешению и перемещению воздушных масс. Следовательно, создаются условия для более равномерного распределения примесей в воздушном потоке.

Установлено, что перевод подготовительной выработки на пульсирующее проветривание способствует увеличению интенсивности турбулентности воздушных потоков путем перемешивания и касательных напряжений в потоке в 3...4 раза, коэффициента турбулентного обмена для импульса - в 20 раз по сравнению с нагнетательным способом проветривания. Пульсирующая подача воздуха в забой вызывает циклические колебания скорости и давления воздуха по всему сечению и длине проветривания выработки, в том числе в закрепном пространстве и куполах. Это приводит к интенсификации воздухообмена в выработке и, как следствие, к улучшению качества перемешивания метана с воздухом. При пульсирующем движении во времени изменяются его усредненные характеристики, при пульсационном (обычном турбулентном) – мгновенные. Пульсирующее движение может быть наложено как на турбулентные, так и на ламинарные потоки. При этом турбулизация потоков увеличивается, а ламинарные потоки превращаются в турбулентные. Степень дополнительной турбулизации потоков зависит от параметров пульсирующего движения. Характерно, что дополнительная турбулизация происходит без увеличения числа Рейнольдса движения. Данное обстоятельство позволяет ожидать, что такой способ турбулизации является менее энергоемким, нежели обычный, - путем увеличения средней скорости движения. Пульсирующее движение жидких сред довольно широко применяется в ряде технологических процессов. Оно, например, используется в обогащении и в химическом производстве для интенсификации межфазового взаимодействия. В шахтной вентиляции пульсирующее движение воздуха до недавнего времени специально не применялось, если не считать неизбежные пульсации потока, связанные с изменениями сопротивления путей движения воздуха и работой вентиляторов.

Современные пульсаторы барабанного типа имеют барабанный распределитель воздушного потока и отличаются друг от друга приводом барабана. Первые конструкции барабанных пульсаторов имели механический привод от отдельного электродвигателя через шестеренчатый редуктор. В настоящее время создан барабанный пульсатор с аэродинамическим приводом барабана, работающим от воздушного потока, подаваемого в пульсатор вентилятором. Эта конструкция не требует отдельного двигателя для вращения барабана, позволяет изменять скорость его вращения в более широком диапазоне, в случае заклинивания барабана пульсатор останавливается автоматически.

Принцип работы пульсатора барабанного типа следующий. Вентилятор местного проветривания (ВМП) засасывает воздух из выработки и подает его в пульсатор, где он с помощью барабана-распределителя квантуется на порции (импульсы), выбрасываемые в выработку, тем самым создавая с ней кратковременное повышение давления (импульс давления). Пульсатор работает совмест-

но с ВМП, образуя с последним установку для пульсирующей вентиляции (УПВ). На рис. 3.14 представлена схема пульсатора барабанного типа с аэродинамическим приводом. Пульсатор имеет цилиндрический корпус 1 с двумя выпускными патрубками 3 (3'). В корпусе соосно с последним смонтирован вращающийся барабан 2 с отверстием  $a-b$  на своей боковой поверхности. Внутри барабана имеется колесо с лопатками 4, сидящее на оси вращения барабана и жестко соединенное с барабаном. От ВМП воздух по трубопроводу 5 поступает на лопатки рабочего колеса пульсатора 4, приводя их и барабан во вращение. В процессе вращения барабана его отверстие  $a-b$  последовательно совмещается с патрубками 3 и 3'. В момент совмещения происходит кратковременный выброс воздуха из пульсатора через выпускной патрубков в окружающую среду. В период, когда оба патрубка закрыты (отверстие  $a-b$  находится между ними), движения воздуха через пульсатор не происходит, что при работающем ВМП приводит к повышению давления в пульсаторе на некоторую величину  $\Delta p$  относительно давления в окружающей среде.

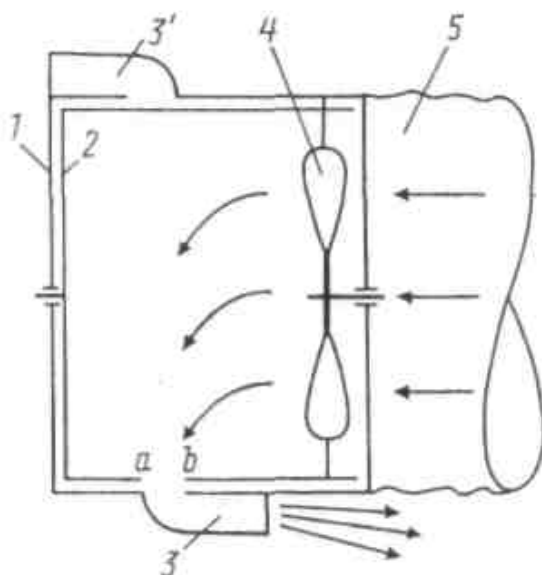


Рис. 3.14. Схематический продольный разрез пульсатора барабанного типа с аэродинамическим приводом

В пульсаторах барабанного типа формирование импульса давления происходит следующим образом. Вентилятор местного проветривания (ВМП) засасывает часть воздуха из выработки, придает ему ускорение и подает в пульсатор. В пульсаторе поток воздуха квантуется на порции путем периодического открывания и закрывания выпускного патрубка. При открытом патрубке порция воздуха с высокой скоростью выходит в выработку, где тормозится до скорости воздушного потока в выработке. При этом часть кинетической энергии выброшенной порции воздуха переходит в статическое давление. Это давление является первой составляющей волны давления. В современных пульсаторах оно находится в пределах (150...250) Па. Вторая составляющая волны давления создается при закрытом выпускном патрубке пульсатора, когда сопротивление пульсатора возрастает, а количество проходящего через него воздуха существенно уменьшается. В итоге напор ВМП и давление в пульсаторе увеличиваются.

ся. При последующем открытии выпускного патрубка порция воздуха, выбрасываемая из пульсатора, уже имеет повышенное давление относительно окружающей воздушной среды. Это вторая составляющая волны давления. В зависимости от мощности ВМП эта составляющая может достигать 1500 Па; таким образом, порция воздуха, выбрасываемая в выработку из пульсатора, находится под избыточным давлением порядка 1000–2000 Па.

На рис. 3.15 представлен поперечный разрез барабанного пульсатора с одним выпускным отверстием  $a'b'$  барабана. На рисунке  $a_1 - b_1$  и  $a_2 - b_2$  - отверстия выпускных патрубков корпуса пульсатора. Очевидно, что при вращении барабана по стрелке выход воздуха начинается в момент совмещения точек  $b$  и  $a_2$ , а заканчивается, когда т.  $a'$  совместится с точкой  $b_2$ .

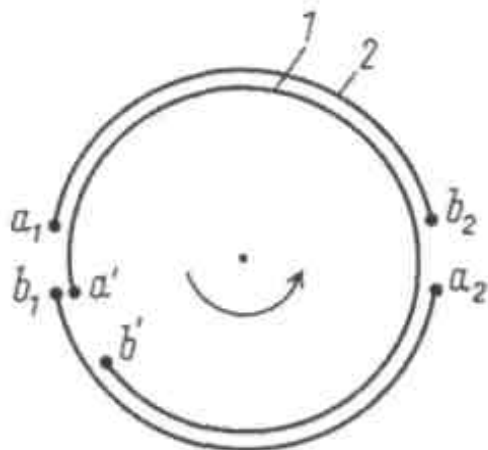


Рис. 3.15. Поперечный разрез барабанного пульсатора:  
1 - вращающийся барабан; 2 - корпус пульсатора

### 3.3. Расчет вентиляции тупиковых выработок

Расчет вентиляции тупиковых выработок производится в следующем порядке.

1. Выбирается способ проветривания. Способ проветривания зависит от горно-геологических и технологических факторов.

2. Рассчитывается необходимое количество воздуха. Расход воздуха определяется по природному газовыделению, расходу ВВ, числу работающих людей, минимальной скорости движения воздуха и тепловому фактору. Для окончательного расчета принимается максимальный расход воздуха. На строящихся шахтах дополнительно рассчитывается расход воздуха по газам, образующимся при сварочных работах. Для тупиковых выработок протяженностью до 300 м и стволов независимо от глубины расчет выполняется сразу для максимальной длины. Для тупиковых выработок большей протяженности допускается расчет на отдельные периоды для промежуточных значений длины 300, 600, 900 м и т.д., включая максимальную длину.

Расчет расхода воздуха производится для призабойного пространства ( $Q_{3n}$ ) и в целом для выработки ( $Q_{т}$ ).

3. Определяется аэродинамическое сопротивление трубопровода.

4. Определяется депрессия (Па) для полной расчетной длины трубопровода по формуле

$$h = R_m Q_s^2$$

где  $R_m$  – аэродинамическое сопротивление трубопровода, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>8</sup>.

5. Производится выбор вентилятора по расчетным значениям  $h_B$  и  $Q_B$  наносимых на характеристики вентиляторов местного проветривания. Принимается вентилятор, удовлетворяющий значениям  $h_B$  и  $Q_B$  с максимальным коэффициентом полезного действия.

### 3.3.1. Расчет расхода воздуха для проветривания призабойного пространства

Расчет расхода воздуха по выделению метана (углекислого газа) производится следующим образом.

Для выработок, проводимых комбайнами, отбойными молотками и буровыми машинами, расход воздуха (м<sup>3</sup>/мин) по фактору метановыделения определяется по формуле

$$Q_{3n} = \frac{100 \cdot I_{3n}}{C - C_0} \quad (3.1)$$

где  $Q_{3n}$  – расход воздуха, который необходимо подавать в призабойное пространство тупиковой выработки, ствола, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{3n}$  – метановыделение на призабойном участке (для стволов принимается  $I_{3c}$ ), м<sup>3</sup>/мин;

$C$  – допустимая согласно ПБ концентрация метана в исходящей из выработки вентиляционной струе, %;

$C_0$  – концентрация метана в струе воздуха, поступающего в тупиковую выработку, %; определяется для тупиковых выработок действующих шахт по результатам измерений, для проектируемых – принимается равной 0,05%, а для стволов  $C_0 = 0$ .

При взрывном способе выемки угля в тупиковых выработках, проводимых по угольным пластам (для шахт, опасных по газу), определяется по формуле

$$Q_{3n} = \frac{S l_{3mp}}{k_{m.d}} \left[ \frac{71 \cdot I_{3nmax}}{S l_{3mp} (C_{max} - C_0) + 18 \cdot I_{3nmax}} \right]^2, \quad (3.2)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки в свету, м<sup>2</sup>

$l_3$  – расстояние от конца вентиляционного трубопровода до забоя выработки, м; принимается согласно требованиям ПБ;

$k_{m.d}$  – коэффициент турбулентной диффузии; принимается равным 1,0 при  $S \leq 10$  м<sup>2</sup> и 0,8 при большем сечении выработки в свету;

$I_{3nmax}$  – максимальное метановыделение в призабойном пространстве после взрывания по углю, м<sup>3</sup>/мин; определяется согласно пункту 3.2.1;

$C_{max}$  – допустимая максимальная концентрация метана в призабойном пространстве после взрывания по углю, %; принимается равной 2%.

Для тупиковых выработок, вскрывающих тонкие крутые пласты, расчет  $Q_{3n}$  по формуле (3.2) не производится.

При нагнетательно-всасывающем способе проветривания тупиковых выработок с использованием пылеулавливающих установок расход воздуха в нагнетательном трубопроводе перед воздуховыпускным клапаном  $Q'_{3n}$  должен быть больше или равен  $1,2 Q_{3n}$ , где  $Q_{3n}$  – расход воздуха, определенный по формуле (3.1).

Расход воздуха через воздуховыпускной клапан  $Q_{e\kappa}$  принимается (0,65–0,75)  $Q_{3n}$ , а подача пылеулавливающей установки

$$Q_{n.y} = 1,2Q_{3n}$$

При этом должно выполняться условие

$$Q'_{3n} \geq Q_{n.y} \text{ а } Q_{e\kappa} \geq 15 \cdot S$$

Расчет расхода воздуха ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ) для проветривания призабойного пространства тупиковой выработки, ствола по газам, образующимся при взрывных работах, осуществляются по формуле

$$Q_{3n} = \frac{2,25}{T} \sqrt[3]{\frac{V_{ee} \bar{S}^2 l_n^2 k_{обв.}}{k_{т.гр}^2}}, \quad (3.3)$$

где  $V_{ee}$  – объем вредных газов, образующихся после взрывания, л;

$$V_{вв} = 100 \cdot B_{уг} + 40 \cdot B_{пор}, \quad (3.4)$$

$B_{уг}$ ,  $B_{пор}$  – масса одновременно взрывааемых ВВ по углю и породе соответственно, кг; если взрывание по углю и породе производится отдельно (в несколько приемов), то при расчете  $Q_{3n}$  принимается максимальное значение  $V_{ee}$ ;

$T$  – время проветривания выработки после взрывания, мин; принимается согласно ПБ;

$\bar{S}$  – средняя площадь поперечного сечения выработки в свету при переменном сечении,  $\text{м}^2$ ;

$$\bar{S} = \frac{S_1 l_1 + S_2 l_2 + \dots + S_n l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}, \quad (3.5)$$

$S_1, S_2, \dots, S_n$  – площади поперечных сечений отдельных участков выработки (ствола),  $\text{м}^2$ ;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  – длина этих участков, м;

$l_n$  – длина тупиковой части выработки (ствола), м; для горизонтальных и наклонных тупиковых выработок длиной 500 м и более вместо  $l_n$  подставляется критическая длина  $l_{н.кр}$ , равная 500 м. Для стволов  $l_{н.кр}$  определяется по формуле

$$l_{н.кр} = \frac{12,5 \cdot V_{ee} k_{m.c} k_{c_1}}{\bar{S}} \quad (3.6)$$

$k_{обв}$  – коэффициент, учитывающий обводненность тупиковой выработки (ствола); принимается по табличным данным «Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт»;

$k_{ут.тр}$  – коэффициент утечек воздуха в вентиляционных трубопроводах; определяется согласно «Руководству...». При длине  $l_n < l_{н.кр}$  значение  $k_{ут.тр}$  при-



нимается для длины  $l_n$ , а при  $l_n \geq l_{n.кр}$  для длины, равной  $l_{n.кр}$ . При определении  $k_{ym.mp}$  необходимо принимать  $Q_{3.n} = 60Sv_{min}$

$k_{m.c}$  – коэффициент турбулентной диффузии полной свободной струи; определяется по таблицам «Руководства...» в зависимости от величины  $l_{3.mp}/d_{mp.n}$ ;

$d_{mp.n}$  – приведенный диаметр трубопровода, м; при расположении трубопровода в углу тупиковой выработки равен  $2d_{mp}$ , а при расположении у стенки выработки или у стенки ствола посередине высоты или ширины выработки равен  $1,5 d_{mp}$ . При использовании в стволах двух параллельных трубопроводов  $d_{mp.n} = 1,5 (d_{mp1} + d_{mp2})$ ;

$k_{c_1}$  – коэффициент, учитывающий совместное влияние обводненности и глубины ствола, а также температуры пород в стволе на процесс разбавления вредных газов; определяется по формуле

$$k_{c_1} = \frac{0,88 \cdot k_{c_2}}{\sqrt{H_c} + t_n - t_0} + 0,04, \quad (3.7)$$

где  $H_c$  – глубина ствола от поверхности до расчетного пункта, м;

$k_{c_2}$  – коэффициент, учитывающий влияние обводненности ствола; зависит от притока воды и равен:

приток воды, м <sup>3</sup> /ч	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$k_{c_2}$	18,4	13,0	10,6	9,2	8,2	7,5	6,9	6,5	6,1

$t_n$  – естественная температура пород на глубине  $H_0$  °С; принимается по данным геологоразведки, а при их отсутствии рассчитывается по Единой методике прогнозирования температурных условий в угольных шахтах;

$t_0$  – среднемесячная температура атмосферного воздуха для июля, °С; принимается по данным, приведенным в Единой методике прогнозирования температурных условий в угольных шахтах.

Таблица 3.1

Значения коэффициента обводненности  $k_{обв}$

Характеристика выработок	$k_{обв}$
Стволы сухие (приток до 1 м <sup>3</sup> /ч) любой глубины и обводненные глубиной не более 200 м. Горизонтальные и наклонные тупиковые выработки проводятся по сухим породам	0,8
Стволы обводненные (приток до 6 м <sup>3</sup> /ч) глубиной более 200 м. Капез. Горизонтальные и наклонные тупиковые выработки частично проводятся по водоносным породам (влажные выработки)	0,6
Стволы обводненные (приток от 6 до 15 м <sup>3</sup> /ч) глубиной более 200 м, капез в виде дождя. Горизонтальные и наклонные тупиковые выработки на всю длину проводятся по водоносным породам или с применением стационарных водяных завес (обводненные выработки)	0,3
Стволы обводненные (приток более 15 м <sup>3</sup> /ч) глубиной более 200 м. Капом в виде ливня	0,15

Значения коэффициента турбулентной диффузии свободной струи

$l_{з.мп}/d_{мп.н}$	$k_{м,с}$	$l_{з.мп}/d_{мп.н}$	$k_{м,с}$
3,22	0,247	7,72	0,460
3,57	0,262	9,60	0,529
3,93	0,276	12,10	0,600
4,28	0,287	15,80	0,672
4,80	0,300	21,85	0,744
5,40	0,335	30,80	0,810
6,35	0,395	48,10	0,873

Расход воздуха ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ) по максимальному числу людей, одновременно работающих в выработке, определяется по формуле

$$Q_{з.н} = 6 \cdot n_{\text{чел.з.н}}, \quad (3.8)$$

где  $n_{\text{чел.з.н}}$  – наибольшее число людей, одновременно работающих в призабойном пространстве тупиковой выработки (ствола), чел;

6 – норма расхода воздуха на человека,  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

Для исключения образования в выработке застойных зон необходимо поддерживать в выработке минимально допустимую Правилами безопасности скорость движения воздуха. Расход воздуха ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ) по минимально допустимой скорости движения воздуха определяется по формуле

$$Q_{з.н} = 60 \cdot v_{n.\text{min}} S, \quad (3.9)$$

где  $v_{n.\text{min}}$  – минимально допустимая согласно ПБ скорость воздуха в тупиковой выработке (стволе), м/с.

Расход воздуха по минимальной скорости в призабойном пространстве тупиковой выработки в зависимости от температуры определяется по формуле

$$Q_{з.н} = 20 \cdot v_{з.\text{min}} S, \quad (3.10)$$

где  $v_{з.\text{min}}$  – минимально допустимая согласно ПБ скорость воздуха в призабойном пространстве выработки в зависимости от температуры, м/с.

Расход воздуха ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ) по тепловому фактору определяется по формуле

$$Q_z = \frac{T_{\text{выр.}}}{60 \cdot c_v \rho (\theta_u - \theta_n)},$$

где  $T_{\text{выр.}}$  – общее тепловыделение в выработку, кДж/ч;

$\theta_u \leq 26$  – температура воздуха, исходящего из выработки, °С;

$\theta_n$  – температура воздуха, поступающего в выработку, °С;

$\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$c_v$  – теплоемкость воздуха, кДж/(кг °С).

При проходке выработок с использованием дизельного оборудования расход воздуха ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ) определяется по формуле

$$Q_z = q_n \sum N,$$

где  $\sum N$  – суммарная мощность двигателей, Вт;

$q_n = 0,007$  – норма расхода воздуха на 1 Вт,  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

### 3.3.2. Расчет расхода воздуха для проветривания всей тупиковой выработки

Расход воздуха для проветривания всей тупиковой выработки по газовыделению  $Q_n$  (м<sup>3</sup>/мин) при любых способах ее проведения определяется по формуле

$$Q_n = \frac{100 \cdot I_n k_{n.n}}{C - C_0}, \quad (3.11)$$

где  $I_n$  – метановыделение (выделение углекислого газа) в тупиковой выработке, м<sup>3</sup>/мин; метановыделение или выделение углекислого газа определяется согласно «Руководства»;

$k_{n.n}$  – коэффициент неравномерности газовыделения в тупиковой выработке; принимается равным 1,0, а в условиях Днепровского бурогоугольного бассейна – 2,4 для выработок, проводимых в угольном массиве, и 3,3 для выработок, проводимых вприсечку к выработанному пространству.

При расчете  $Q_n$  по углекислому газу значение  $C_0$  принимается равным концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе на поверхности шахты.

Расход воздуха для проветривания тупиковой выработки по числу людей определяется по формуле (3.8), в которую вместо  $n_{чел.зн}$  подставляется наибольшее число людей, одновременно работающих в выработке.

При проведении параллельных выработок, основная часть которых проветривается за счет общешахтной депрессии, а тупиковая – вентиляторами местного проветривания (ВМП), расчет расхода воздуха для тупиковой части выработок производится согласно «Руководству...», а расход воздуха в месте установки ВМП ( $Q_{вс}$ , м<sup>3</sup>/мин) должен удовлетворять условиям формул (3.19) или (3.20) и (3.12)

$$Q_{вс} \geq \frac{100 \cdot I_{нар}}{0,5 - C_0} \quad (3.12)$$

где  $I_{нар}$  – выделение метана в параллельной выработке от ее устья до места установки ВМП, м<sup>3</sup>/мин; определяется по формуле (3.2), в которой  $k_m$  рассчитывается как разность между его значениями для всей выработки (от устья до забоя) и участка выработки от места установки ВМП до забоя.

Расход воздуха, который необходимо подавать в устье параллельных выработок, рассчитывается по формуле (3.13) и должен удовлетворять условию формулы (3.14)

$$Q_{у.нар} = Q_{вс} (1 + 0,025 \cdot n_n); \quad (3.13)$$

$$Q_{у.нар} \geq \frac{100 \cdot I_{n.нар}}{C - C_0}, \quad (3.14)$$

где  $Q_{вс}$  – расход воздуха в месте установки ВМП, м<sup>3</sup>/мин;

$n_n$  – число перемычек от устья параллельных выработок до места установки вентиляторов;

$I_{нар}$  – метановыделение в параллельные выработки, м<sup>3</sup>/мин; определяется согласно «Руководству...».

При ведении сварочных работ в стволах расход воздуха по выделению вредных веществ рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = \frac{2,1 \cdot k_{н.с} M_{св.н} P_э n_{noc}}{N_{ce} C_n} \quad (3.16)$$

где  $k_{н.с}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность выполнения сварочных работ; принимается равным 1,1...1,2;

$M_{св.н}$  – масса сварочной пыли и газов, образующихся при расходе 1 кг электродов в пересчете на условную окись марганца, г/кг; принимается по табл. 3.3 в зависимости от типа и марки электрода;

$n_{noc}$  – число сварочных постов, действующих в выработке одновременно;

$P_э$  – расход электродов на сварку 1 метра шва, кг/м;

$N_{ce}$  – норма времени на 10 метров сварочного шва, ч/м; принимается  $N_{ce} = 3,4$  ч/м;

$C_n$  – предельно допустимая концентрация пыли окислов марганца, мг/м<sup>3</sup>; принимается  $C_n = 0,3$  мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 3.3

Вредные вещества, образующиеся при ведении сварочных работ, в пересчете на условную окись марганца

Тип электрода	Марка электрода	Объем сварочной пыли и газов, образующихся при расходе 1 кг электродов, в пересчете на условную окись марганца, г/кг
Э-42	ЦМ-7	7,5
	ОММ-5	2,9
	УОНИ-13/45	3,0
	УОНИ-13/55	3,0
ЭА-1	Аустенит	1,0
	АНО-1	1,43
	АНО-3	1,17
	АНО-4	1,05

Подача вентилятора, работающего на гибкий или жесткий трубопровод, определяется по формуле

$$Q_в = Q_{з.н} k_{ум.пр} \quad (3.17)$$

При этом должно соблюдаться условие

$$Q_в \geq Q_{з.н} \quad (3.18)$$

Расход воздуха у всаса вентилятора местного проветривания должен удовлетворять условию

$$Q_{вс} \geq 1,43 \cdot Q_в \quad (3.19)$$

Расход воздуха у всаса группы вентиляторов, работающих на разные трубопроводы и установленных в одном месте, должен удовлетворять условию

$$Q_{вс} \geq 1,43 \cdot \sum Q_в \quad (3.20)$$

При всасывающем проветривании расход воздуха (м<sup>3</sup>/мин) для проветривания призабойной зоны определяется по формуле

$$Q_{з.н} = \frac{2,13}{t_{\Pi}} \sqrt{BbS_{\epsilon} \left(15 + \frac{B}{5}\right)}.$$

При комбинированном проветривании подача (м<sup>3</sup>/мин) всасывающего вентилятора определяется по формуле

$$Q_{\epsilon} = \frac{2 \cdot V_{\Pi.ч} + 2 \cdot S_{\epsilon} l_{\epsilon} + 0,76 \cdot \sqrt{BV_{\Pi.ч} b}}{t_{\Pi}}$$

В случае проведения параллельных выработок, основная часть которых проветривается за счет общешахтной депрессии, а призабойное пространство – вентиляторами местного проветривания, расход воздуха для проветривания их устья определяется по формуле

$$Q_y = 1,43 \cdot \sum Q_{\epsilon} + Q_{ym},$$

где  $Q_{ym}$  – утечки воздуха через перемычки и целики по всей длине воздухоподающей выработки, м<sup>3</sup>/мин,

### 3.3.3. Выбор и определение аэродинамических характеристик средств проветривания тупиковых выработок.

При проходке и углубке стволов для вентиляционного трубопровода должны применяться жесткие трубы. На участке от проходческого полка до забоя допускается применение гибких труб.

Основным типом вентиляционных труб, применяемых при проходке стволов, являются стальные диаметром 0,5-1,2 м и длиной звена от 3 до 4,2 м.

Выбирается диаметр трубопровода с учетом глубины и площади поперечного сечения ствола, расхода воздуха и расположения проходческого оборудования.

При глубине стволов до 800 м для уплотнения стыков допускается применение промасленного картона или пенькового каната. При глубине стволов больше 300 м при скоростных темпах проходки независимо от глубины ствола для уплотнения стыков должны применяться резиновые прокладки.

При проходке стволов-скважин бурением следует применять для проветривания бурильные трубы. Они имеют внутренний диаметр 0,15 м, а длину 6 и 12 м. Резьбовое соединение обеспечивает максимальное уплотнение трубопровода, благодаря чему утечек воздуха почти нет.

При проведении горизонтальных и наклонных выработок для вентиляционных трубопроводов в зависимости от способа проветривания могут применяться как жесткие, так и гибкие вентиляционные трубы.

При нагнетательном способе проветривания, как правило, применяются гибкие вентиляционные трубы, а при всасывающем – жесткие. Диаметр трубопровода выбирается в зависимости от его длины и расхода воздуха на выходе из трубопровода  $Q_{mp}$ , если воздух подается в призабойное пространство по одному трубопроводу, расчетный расход воздуха для проветривания призабойного пространства, равен  $Q_{mp} = Q_{з.н}$ .

Ориентировочно диаметр гибких труб типов 1А и 1Б можно принимать согласно таблицам «Руководства...».

Для уменьшения коэффициента утечек воздуха и аэродинамического сопротивления гибких трубопроводов следует применять комбинированный вентиляционный трубопровод из гибких труб типов 1А и 1Б и введенного внутрь их полиэтиленового рукава и конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава. Комбинированный трубопровод рекомендуется применять при диаметре труб 0,6 м и более и длине трубопровода более 400 м. Длина конечного участка без полиэтиленового рукава составляет 150-200 м. Комбинированный трубопровод допускается применять только со специальным пускорегулирующим устройством.

Коэффициент утечек воздуха для гибких вентиляционных трубопроводов из труб типа 1А и 1Б диаметром 0,6-1,0 м принимается согласно таблиц «Руководства...» в зависимости от длины трубопровода и расхода воздуха в конце его, а для трубопроводов диаметром 0,5 м и менее определяется по формуле

$$k_{\text{ум.мп}} = 1 + 1,78 \cdot 10^{-6} d_{\text{мп}}^2 l_{\text{мп}}^2 Q_{\text{з.н}} ,$$

где  $d_{\text{мп}}$  – диаметр трубопровода, м;  
 $l_{\text{мп}}$  – длина трубопровода, м.

Коэффициент утечек воздуха для жестких вентиляционных труб определяется по формуле

$$k_{\text{ум.мп}} = \left( \frac{1}{3} \cdot k_{\text{ум.см}} \cdot d_{\text{мп}} \frac{l_{\text{мп}}}{l_{\text{зв}}} \sqrt{R_{\text{мп.ж}}} + 1 \right)^2 , \quad (3.21)$$

где  $k_{\text{ум.см}}$  – коэффициент удельной стыковой воздухопроницаемости при фланцевом соединении трубопровода; принимается по таблицам;

$l_{\text{зв}}$  – длина звена трубопровода, м;

$R_{\text{ж}}$  – аэродинамическое сопротивление жесткого трубопровода без утечек воздуха,  $\text{к}\mu$ ; определяется по формуле (3.22).

При использовании комбинированного гибкого трубопровода коэффициент утечек воздуха определяется по формуле

$$k_{\text{ум.мп}} = k_{\text{ум.мп1}} k_{\text{ум.мп2}} ,$$

где  $k_{\text{ум.мп1}}$  – коэффициент утечек воздуха для конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава; определяется по таблицам;

$k_{\text{ум.мп2}}$  – коэффициент утечек воздуха для участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом; определяется по таблицам.

При определении значения  $k_{\text{ум.мп2}}$  по табл. 5.6 значение  $Q'_{\text{зн}}$  следует определять по формуле

$$Q'_{\text{зн}} = Q_{\text{зн}} k_{\text{ум.мп1}}$$

Аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без утечек воздуха определяется по формуле

$$R_{\text{мп.г}} = r_{\text{мп}} (l_{\text{мп}} + 20 \cdot d_{\text{мп}} n_1 + 10 \cdot d_{\text{мп}} n_2) ,$$

где  $r_{\text{мп}}$  – удельное аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без утечек воздуха,  $\text{к}\mu/\text{м}$ ; для труб типа 1А, 1Б при длине звена 20

м значение это принимается для диаметров 0,2 (0,21); 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8 и 1,0 м соответственно равным 7,86; 1,33; 0,304, 0,177, 0,071; 0,0161 и 0,0053  $\text{к}\mu/\text{м}$ .

$n_1$  и  $n_2$  – число поворотов трубопроводов на  $90^\circ$  и  $45^\circ$  соответственно.

Аэродинамическое сопротивление гибкого комбинированного вентиляционного трубопровода определяется по формуле

$$R_{mp.z} = r_{mp} (l_{mp1} + 20d_{mp1} n_1 + 10 \cdot d_{mp1} n_2) + r_{mp.k} (l_{mp2} + 20 \cdot d_{mp2} n_1 + 10 \cdot d_{mp2} n_2),$$

где  $l_{mp}$  – длина конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава, м;  
 $d_{mp}$  – диаметр конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава, м;

$r_{mp.k}$  – аэродинамическое сопротивление 1 м трубопровода с полиэтиленовым рукавом; принимается равным 0,0194; 0,0046 и 0,00153  $\text{к}\mu/\text{м}$  при диаметре труб 0,6; 0,8 и 1,0 м соответственно;

$l_{mp2}$  – длина участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом, м;

$d_{mp2}$  – диаметр участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом, м.

Аэродинамическое сопротивление жесткого трубопровода и фасонных частей без утечек воздуха определяется по формуле

$$R_{mp.ж} = 1,2 \cdot R_{mp} + \sum R_M, \quad (3.22)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий нелинейности трубопровода и несоответствие стыков;

$R_M$  – аэродинамическое сопротивление фасонных частей,  $\text{к}\mu$ ; принимается по табл. 5.9.

$R_{mp}$  – аэродинамическое сопротивление жесткого трубопровода без утечек воздуха,  $\text{к}\mu$ ; определяется по таблицам или по формуле

$$R_{mp} = \frac{6,5 \cdot \alpha l_{mp}}{d_{mp}^5},$$

где  $\alpha$  – коэффициент аэродинамического сопротивления жесткого трубопровода; принимается в зависимости от состояния труб по таблицам.

Давление вентилятора, работающего на гибкий вентиляционный трубопровод или гибкий комбинированный трубопровод (депрессия трубопровода), определяется по формуле

$$h_g = Q_g^2 R_{mp.z} \left( \frac{0,59}{k_{ym.mp}} + 0,41 \right)^2. \quad (3.23)$$

Давление вентилятора, работающего на жесткий вентиляционный трубопровод (депрессия трубопровода), определяется по формуле

$$h_g = \frac{Q_g^2 R_{mp.ж}}{k_{ym.mp}}. \quad (3.24)$$

При проветривании стволов давление вентилятора, установленного на поверхности (депрессия сети), определяется по формуле

$$h_g = \frac{Q_g^2 R_c}{k_{yt.vn}} \quad (3.25)$$

где  $R_c$  – аэродинамическое сопротивление сети (вентиляционной установки, участка ствола со свежей струей, вентиляционной сбойки, участка ствола с исходящей струей воздуха, нулевой рамы),  $кμ$ .

### 3.3.4. Выбор побудителя тяги.

Выбор вентилятора производится путем нанесения расчетного режима его работы  $Q_e$  и  $h_e$  (рис. 3.16, точка А), определяемого по формуле (3.17) и формулам (3.23), (3.24) или (3.25), на график аэродинамических характеристик вентиляторов. При этом для проветривания выработки следует принимать такой вентилятор (или несколько вентиляторов, установленных последовательно или параллельно), аэродинамическая характеристика которого проходит через точку с координатами расчетного режима  $Q_e$  и  $h_e$  или выше ее.

При использовании вентиляционных трубопроводов из гибких труб типов 1А и 1Б предварительно можно выбрать вентилятор по таблицам в зависимости от диаметра и максимальной длины трубопровода и значения  $Q_{зп}$  затем уточнить тип вентилятора по аэродинамической характеристике трубопровода.

Если аэродинамическая характеристика вентилятора (или нескольких вентиляторов, установленных последовательно или параллельно) проходит выше точки с координатами расчетного режима  $Q_e$  и  $h_e$ , то для определения подачи  $Q_{в.р}$  и  $h_{в.р}$  выбранного вентилятора (вентиляторов) необходимо нанести аэродинамическую характеристику трубопровода (сети) на график аэродинамической характеристики вентилятора. Точка пересечения характеристик (см. рис. 3.16, точка Б) определяет значения  $Q_{в.р}$  и  $h_{в.р}$ . В этом случае расход воздуха у забоя составит

$$Q_{з.н.р} = 1,69 \cdot \sqrt{\frac{h_{в.р}}{R_{мп.з}}} - 0,69 \cdot Q_{в.р}. \quad (3.26)$$

Построение аэродинамической характеристики жесткого трубопровода или сопротивления сети выработок производится следующим образом.

Задавая значения расхода воздуха 1, 2, 3 и т.д. в  $м^3/с$ , определяют значения  $h_e$  (даПа) по формулам (3.24), (3.25).

По парным значениям  $Q_e$  и  $h_e$  следует нанести на графике точки и соединить их кривой (рис. 3.16, кривая 1).

Аналогичным образом наносится аэродинамическая характеристика гибкого вентиляционного трубопровода и гибкого комбинированного трубопровода. При этом задаются произвольные значения  $Q_{зп}$  в  $м^3/с$  и для каждого из них определяются:  $к_{ум.тп}$ , расход воздуха в начале трубопровода (подача ВМП)  $Q_e$  и депрессия трубопровода (давление ВМП) по формуле (3.23). По парным значениям  $Q_e$  и  $h_e$  наносятся на графике точки, по которым проводится кривая.

Если нельзя обеспечить подачу требуемого расхода воздуха по одному трубопроводу, то проветривание выработки можно осуществлять по двум или трем трубопроводам.

После выбора ВМП и трубопровода производится проверка расхода воздуха в устье тупиковой выработки  $Q_{н.р}$  из условия



$$Q_{n.p} = \frac{Q_{в.р}}{k'_{ум.пр} \geq Q_n},$$

где  $k'_{ум.пр}$  – коэффициент утечек воздуха в трубопроводе на участке от ВМП до устья тупиковой выработки.

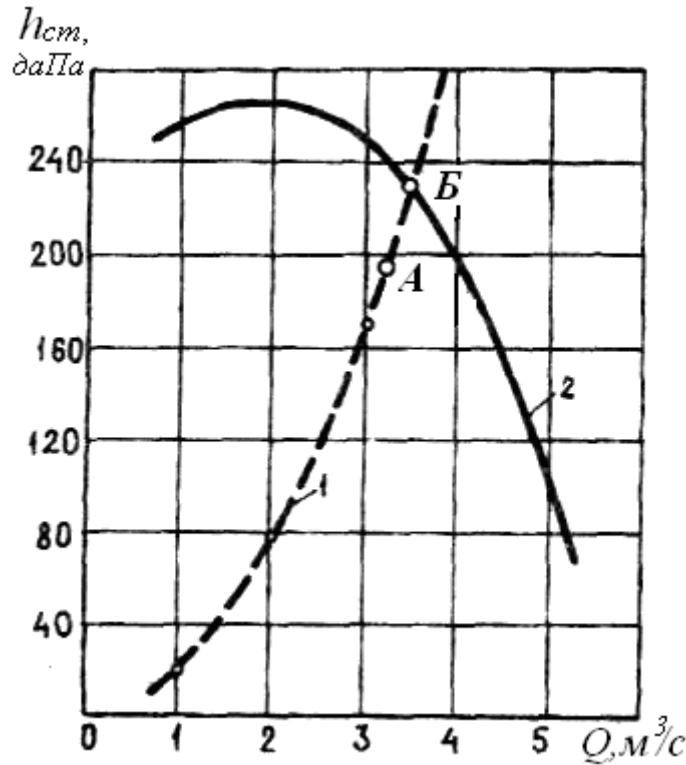


Рис. 3.16. Определение режима работы вентилятора: 1 – аэродинамическая характеристика трубопровода (сети); 2 – аэродинамическая характеристика вентилятора

Для жестких вентиляционных труб  $k'_{ум.пр}$  определяется по формуле (3.21), в которую вместо  $l_{пр}$  и  $R_{пр}$  подставляются длина и аэродинамическое сопротивление участка трубопровода от ВМП до устья тупиковой выработки.

Для гибких вентиляционных труб  $k'_{ум.пр}$  рассчитывается по формуле

$$k'_{ум.пр} = \frac{k_{ум.пр}}{k_{ум.пр.т}},$$

где  $k_{ум.пр.т}$  – коэффициент утечек воздуха в трубопроводе на участке от устья выработки до забоя; принимается по табл. 5.4.

Если условие формулы (3.26) не выполняется, то необходимо увеличить  $Q_{зн}$ , принимая по таблице значения  $Q_{зн}$  и  $k_{ум.пр}$  для  $l_n$  такими, чтобы  $Q_{зн} k_{ум.пр} \geq Q_n$ .

Расчет каскадной установки вентиляторов производится в следующем порядке.

Аэродинамическое сопротивление трубопровода определяется по заданному типу труб, их диаметру, длине звеньев, качеству сборки и полной расчетной длине трубопровода.

Рассчитываются коэффициенты потерь и доставки воздуха и определяется подача ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ) вентиляторной установки на полную длину трубопровода по формуле

$$Q_v = \frac{Q_z}{\eta},$$

где  $Q_z$  – расход воздуха для проветривания забоя,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

В связи с необходимостью создания большого напора коэффициент удельной стыковой воздухопроницаемости в жестких трубопроводах должен быть по возможности минимальным, что достигается применением соответствующих способов соединения звеньев.

## **РАЗДЕЛ 4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ**

Развитие и совершенствование подземной добычи угля связано с концентрацией и интенсификацией горных работ, осуществляемых путем механизации и автоматизации производственных процессов, с увеличением глубины горных работ. Все это сопровождается ухудшением условий эксплуатации шахт - увеличением тепловыделения и повышением температуры рудничного воздуха, ростом газообильности шахт, запыленности атмосферы горных выработок. Основой улучшения технико-экономических показателей работы шахт является увеличение нагрузки на очистные забои в этих усложняющихся условиях. Достичь этого и эффективно использовать имеющуюся угледобывающую технику невозможно без разработки новой технологии, обеспечения необходимых аэрологических условий, при которых высокая производительность труда сочеталась бы с максимальной безопасностью ведения горных работ.

Несмотря на достигнутые успехи в повышении эффективности различных способов снижения газовыделения, борьбы с запыленностью рудничного воздуха, вентиляция является одним из основных средств создания безопасных и нормальных санитарно-гигиенических условий труда в шахтах.

Весьма важным, сложным и ответственным звеном шахты является выемочный участок. Именно здесь выделяется основное количество метана, пыли, весьма интенсивно идет нагревание воздушного потока, происходит наибольшее количество выбросов угля и газа. Совершенно очевидна важность повышения эффективности вентиляции. Последнее может быть достигнуто в первую очередь совершенствованием схем проветривания выемочных участков.

Переход на эффективные схемы проветривания выемочных участков даже в весьма сложных горно-геологических условиях показал, что они позволили практически снять в абсолютном большинстве случаев, ограничения нагрузки на лаву по газовому фактору, снизить запыленность рудничного воздуха, уменьшить нагревание его, повысить безопасность работ, особенно в аварийных ситуациях, с одновременным улучшением технико-экономических показателей работы участков.

В пределах выемочных участков происходит наибольшее загрязнение атмосферы. Здесь выделяется 60-70% метана, а в ряде случаев до 90%, образуется до 60-80% пыли, тепловыделение достигает 70% и в отдельных случаях 85%, происходит большинство эндогенных пожаров.

### **4.1. Газовыделения на выемочных участках**

#### **4.1.1. Газоносность угольных пластов и вмещающих пород**

Основным фактором, определяющим газообильность горных выработок, является газоносность угольных пластов и вмещающих пород. Из 655 пологих и наклонных шахтопластов в Украинском Донбассе около 30% имеют газоносность в пределах 5-10 м<sup>3</sup>/т, 28,2% - 10-20 м<sup>3</sup>/т и более 10% свыше 20 м<sup>3</sup>/т. С переходом горных работ на более глубокие горизонты возрастает удельный вес

пластов с повышенной газоносностью. Нарастание глубины разработки ежегодно составляет 10-12 м, на крутых пластах 15-18 м. На глубине более 600 м разработку ведет 131 шахта, на глубине более 1000м -16 шахт.

С ростом глубины особенно интенсивно повышается газообильность выемочных участков (рис. 4.1) и главным образом за счет интенсивного газовыделения из вмещающих пород. Это наглядно можно проследить на примере двух наиболее характерных пластов Донбасса  $m_3$  и  $h_7$  (рис.4.2).

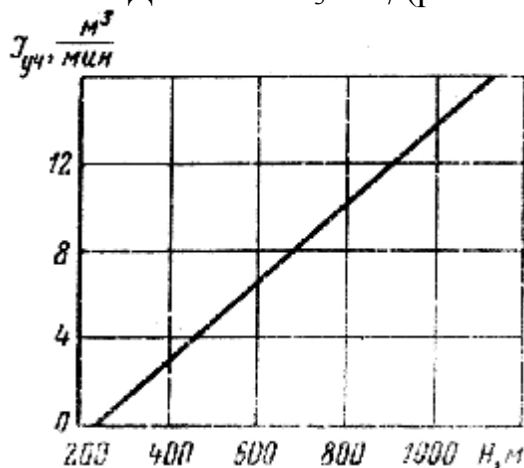


Рис. 4.1. Газообильность выемочных участков.

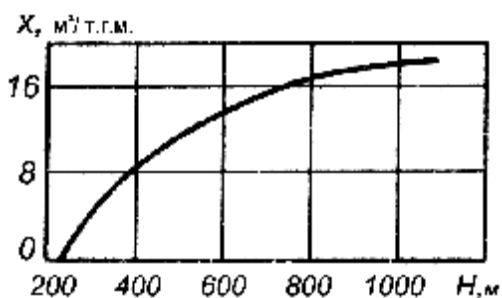


Рис. 4.2. Природная газоносность пластов Донбасса.

В настоящее время 14% выемочных участков в Донбассе имеют метанообильность от 5 до 15 м³/мин и 7% -свыше 15 м³/мин. За последние годы средняя метанообильность выемочных участков возросла почти в 1,3 раза, за предыдущие - в 1,5 раза.

На удельное газовыделение в пределах выемочного участка значительное влияние оказывает глубина разработки  $H$  (рис. 4.3).

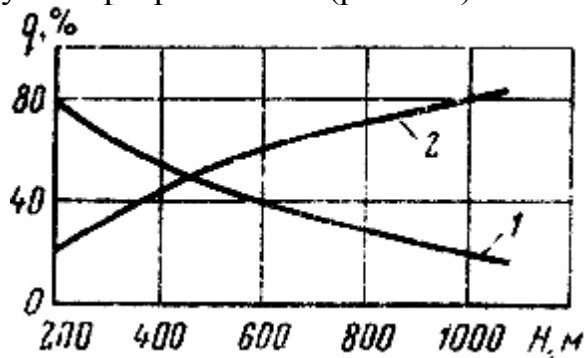


Рис. 4.3. Удельное газовыделение: 1 - из пласта; 2 - из выработанного пространства.

Общеизвестны четыре основных рассредоточенных источника, из которых газ выделяется и непосредственно поступает в вентиляционную струю выемочного участка:

- рабочее пространство лавы (газ из отбитого угля и массива);
- выработанное пространство (газ из спутников и боковых пород);
- воздухоподающая или транспортная выработка (газ из отбитого угля и угольного массива);
- тупиковые подготовительные выработки при последовательном их проветривании с лавой.

Из этих же четырех источников происходит выделение других вредных веществ (пыль, тепло) в воздушную струю участка.

Удельный вес перечисленных источников и абсолютная величина составляющих газовый баланс участка зависят от большого числа факторов и колеблются в очень широких пределах. Установлено, что удельный вес газовой выделенной из 1-го источника составляет для большинства участков глубоких и переходной глубины шахт 10-60%, 2-го 30-90%, 3-го 5-20%, 4-го до 30%.

В Донбассе на большей половине разрабатываемых шахтопластов удельный вес газовой выделенной (расчетный) в выработанное пространство из спутников и боковых пород в общем газовом балансе выемочных участков составляет 40-60% при средней глубине ведения горных работ 600 м.

Основными факторами, оказывающими наиболее существенное влияние на рассматриваемые параметры, являются: схема проветривания участка, газоносность разрабатываемого пласта и вмещающих пород, крепость последних, число спутников, их мощность и расстояние до разрабатываемого пласта, глубина разработки, степень метаморфизма, скорость подвигания очистного забоя, длина очистной выработки, ширина захвата выемочной машины, продолжительность нахождения отбитого угля в выработках участка и его крупность, система разработки, способ управления кровлей.

Поступление и распределение составляющих газового баланса по выработкам выемочного участка определяется схемой его проветривания. Так, при возвратноточной схеме проветривания с выдачей исходящей на массив угля газ почти из всех источников в конечном итоге поступает в очистную выработку. При аналогичной схеме, но с выдачей исходящей на выработанное пространство, только часть газа из последнего поступает в очистную выработку, а основное его количество выносится непосредственно в исходящую вентиляционную выработку.

Метановыделение в пределах выемочного участка пропорционально скорости подвигания очистного забоя в степени 0,6.

Для снижения газовой выделенной в выработках выемочных участков применяется дегазация.

Основным методом дегазации на шахтах Украины является дегазация пластов-спутников с помощью скважин, пробуренных из горных выработок. Эффективность ее составляет в среднем 35%. Наиболее низкая эффективность (15-35%) дегазация пластов-спутников при наиболее прогрессивной столбовой системе разработки с погашением штреков (ходков) вслед за лавой. Пересе-

кающие сближенные пласты дегазационные скважины находятся в неактивных по интенсивности смещения пород и газовыделения зонах, а срок их службы составляет несколько суток. Последний еще уменьшается с увеличением скорости подвигания очистного забоя. Дегазация выработанного пространства, в том числе комплексная, применяется с эффективностью 30-50%, реже - 60% и выше, в основном при столбовых системах разработки, где погашаемая часть вентиляционного штрека является естественным коллектором метана, выделяющегося из пластов-спутников и вмещающих пород. Дегазация разрабатываемых пластов применяется редко вследствие недостаточной ее эффективности (менее 20%) на пластах с низкой газопроницаемостью. Всего дегазационными установками каптируется около 30% метана, выделяющегося в шахтах Украины.

#### 4.1.2 Влияние выработанного пространства на газообильность выемочного участка

При некоторых схемах проветривания на газообильность выемочного участка оказывает влияние газ, выделяющийся из выработанного пространства смежного отработанного, выработки которого используются для подачи свежей или выдачи исходящей из действующей лавы. О характере и величине изменения такого газовыделения можно судить по кривым, представленным на рис. 4.4 (*а* - для сплошной системы разработки и *б* - для столбовой). Отрезок *а-б* на кривых соответствует средней газообильности выработанного пространства в конечный период его отработки (3-4 месяца). Участки *б-в* характеризуют снижение газовыделения после остановки забоев. В первые 1-2 месяца происходит весьма интенсивный спад выделения метана из остановленного забоя. Так, в условиях пласта  $h_7$  (Донецко-Макеевский район) оно составляет в этот период 30...50% первоначальной величины (рис. 4.4, *а*), и в условиях пласта  $m_3$  - 60-70% (рис. 4.4, *б*). Затем темп снижения уменьшается (линии *б-в* выполаживаются). Через 5-8 месяцев газовыделение из выработанного пространства остановленной лавы составляет порядка  $2,0 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Примерно только через полтора года оно уменьшается до  $0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$  по пласту  $h_7$  и до  $0,7-1,0 \text{ м}^3/\text{мин}$  - по пласту  $m_3$ .

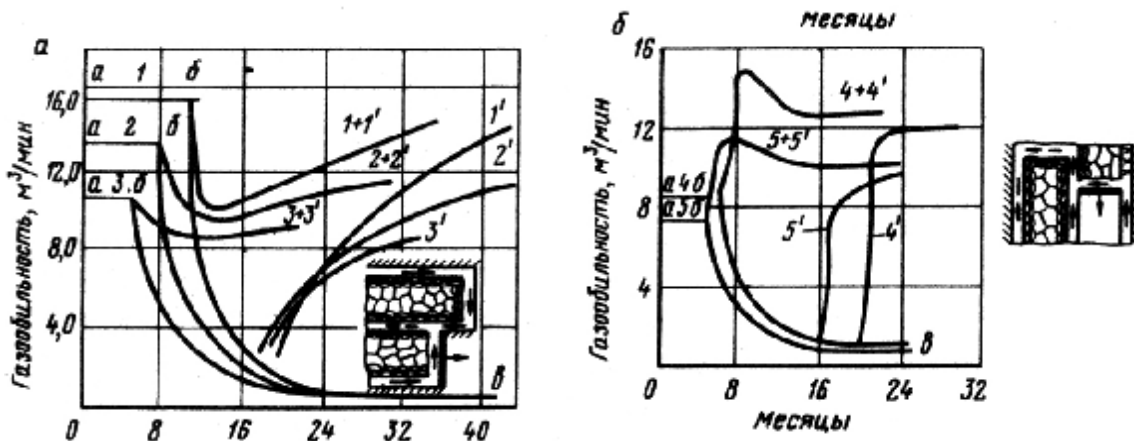


Рис. 4.4. Суммарное газовыделение на выемочных участках из действующих и отработанных лав во времени: *а* – при прямом порядке отработки; *б* – при обратном.

Характер изменения газовыделения из выработанного пространства остановленной лавы хорошо (с надежностью 95% при коэффициенте - корреляции 0,7) описывается эмпирической зависимостью вида

$$I_0 = I_k e^{-at},$$

где  $I_0$  - газовыделение из выработанного пространства остановленного участка по истечении времени после окончания работ, м<sup>3</sup>/мин;

$I_k$  - газовыделение из выработанного пространства остановленного участка в конечный период работы, м<sup>3</sup>/мин;

$a$  - коэффициент, учитывающий горно-геологические и горно-технические условия разработки пласта:  $a = 0,0058 - 0,0066$ ;

$t$  - время, прошедшее после окончания работы лавы, месяцы.

Изменение газообильности, действующего выемочного участка после сдачи его в эксплуатацию имеет различный характер для указанных пластов.

При выемке пласта  $h_7$  сплошной системой нарастание газообильности участка происходило постепенно: (рис. 4.4, а, кривые 1, 2, 3). В течение первого месяца величина его не превышает 3-4 м<sup>3</sup>/мин, к шести месяцам составляет 50-60% максимальной величины, и только примерно через 2 года (при скорости подвигания лавы, равной 40-50 м в месяц) достигает максимального значения.

При разработке пласта  $m_3$  столбовой системой газообильность участка резко увеличилась уже после первой посадки основной кровли (рис. 4.4, б, кривые 1' и 2'), происходившей после отхода лавы от разрезной печи на расстояние 35-40м.

Изменение газообильности выработанных пространств действующих участков с надежностью 95% при коэффициенте корреляции 0,6-0,8 м описывается зависимостью

$$I_q = I_{max} (1 - e^{-\beta t}), \text{ м}^3/\text{мин},$$

где  $I_q$  - газовыделение из выработанного пространства через время  $t$  после начала очистных работ, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{max}$  - максимальная газообильность выработанного пространства действующего участка, м<sup>3</sup>/мин;

$\beta$  - коэффициент, характеризующий степень нарастания газообильности выработанного пространства, сек<sup>-1</sup>;  $\beta = 0,0032-0,0040$  - при сплошной системе разработки;  $\beta = 0,048 - 0,050$  - при столбовой системе разработки.

Как видно из рис. 4.4, а, б, все анализируемые лавы сдавались в эксплуатацию через 8-14 месяцев после отработки соседних лав, т.е. когда газовыделение из выработанного пространства последних невелико. В том случае, если бы участок вступал в эксплуатацию сразу же после остановки смежной лавы, суммарное газовыделение действующего и отработанного участков составляло бы величину, представленную на рис. 4.4, а, кривыми 1+1', 2+2', 3 + 3'. При сплошной системе разработки в первые два месяца суммарная газообильность снижается. Это свидетельствует о том, что преобладающее влияние оказывает более быстрый темп уменьшения дебита метана из выработанного пространства остановленной лавы над дебитом из выработанного пространства действующей. В дальнейшем величина первого настолько незначительна, что основную роль

играет фактор нарастания газообильности участка, находящегося в работе. Для лав пласта  $h_7$  суммарное газовыделение достигает максимума, когда выделение метана из старых работ практически прекращается.

Для лав пласта  $m_3$  суммарная газообильность в первые 1-2 месяца в 1,5-1,75 раза превышала максимальную газообильность участка (рис. 4.4, б, кривые 4 + 4', 5 + 5'). Нарастание дебита метана на действующем участке в этот период происходило значительно интенсивнее снижения его из отработанного участка. Поэтому суммарная газообильность превышала максимальный дебит метана на величину газовыделения из остановленной лавы.

В связи с изложенным в условиях, аналогичных разработке пласта  $m_3$ , разрыв во времени между остановкой смежной лавы и использованием ее выработок для проветривания действующей лавы должен составлять не менее 6 месяцев. В противном случае необходимо увеличивать расход воздуха в свежей дополнительной струе в 1,7-2 раза на первые 1-2 месяца после начала работы и в дальнейшем иметь резерв его для разбавления дополнительно газа, выделяющегося из старых работ.

#### **4.2. Запыленность воздуха на выемочных участках**

Основными факторами, влияющими на запыленность воздуха, являются: марка угля, сопротивляемость резанию, глубина разработки, пластовая влажность, скорость движения воздуха, тип комбайна и др. На выемочных участках образуется и поступает в атмосферу основное количество пыли. Наиболее интенсивными источниками преобразования являются выемочные и проходческие комбайны, на долю которых приходится 90-95% всей пыли, образующейся в процессе ведения горных работ. Запыленность воздуха в лавах превышает допустимые пределы. Удельное пылевыведение при ведении очистных работ при этом составляет 800-1000 г/т; интенсивность пылевыведения-при нагрузке на забой 500-1000 т/сутки равна 300-600 г/мин (при скорости воздуха 2-3 м/с). Эффективность комплекса обеспыливающих мероприятий, обеспечивающих снижение содержания пыли до уровней предельно допустимых концентраций, должна быть не менее 99,7-99,9%, что представляет весьма сложную научную и инженерную проблему.

Существенное влияние на запыленность воздуха в горных выработках оказывает скорость, и направление воздушной струи, и количество воздуха, проходящее по выработке. Для условий работы выемочных комбайнов в лавах наблюдается параболическая зависимость удельного пылевыведения от скорости воздуха в лаве. Так, при увеличении последней, например, с 1,5 до 5 м/с, т.е. в 3,3 раза, пылевыведение возрастает более чем в 7 раз.

Относительное значение вентиляции как средства борьбы с пылью увеличивается в случае применения гидроспособов пылеподавления. Так, нагнетание воды в пласт и орошение отбитого угля существенно снижает удельное пылевыведение и при этом доля нагрузки на вентиляцию по борьбе с пылью возрастает до 40-50%, т.е. во много раз. Таким образом, обеспыливающее проветривание имеет большое значение в комплексе мероприятий, направленных на



обеспыливание шахтной атмосферы. Оно определяется двумя основными факторами: разжижением и выносом пыли и взметыванием осевшей пыли.

Запыленность воздуха уменьшается с увеличением скорости вентиляционной струи до определенного предела за счет разжижения и выноса пыли, а затем увеличивается при дальнейшем росте скорости вентиляционного потока вследствие взметывания осевшей пыли и замедления процесса седиментации.

Правилами безопасности рекомендованы оптимальные скорости движения воздуха в очистных забоях 1,2-2,0 м/с. Применение различных способов пылеподавления сдвигает этот диапазон до 1,4-2,8 м/с. Наиболее широкий диапазон (1,5-2,7 м/с) характерен для пылеподавления с помощью системы пневмогидроорошения.

### **4.3. Тепловыделение на выемочных участках**

Шахты Донбасса характеризуются очень сложными тепловыми условиями. Основными источниками теплонасыщения рудничного воздуха в пределах выемочных участков являются теплоотдача массива пород окружающих выработки, электрические машины механизмы, так как практически вся потребляемая ими энергия переходит, в конечном счете, в теплоту, горная масса, транспортируемая конвейерами, шахтная вода и др. В настоящее время на 65% шахт температура породного массива достигает 28° и более, а на глубинах 1000-1300 м составляет 45-50°С. Увеличению глубины работ на каждые 100 м соответствует рост средней температуры пород на 3-4°, что приводит к увеличению нагрева вентиляционной струи и в свою очередь к повышению ее температуры на выемочном участке на 1,5-2°.

Установленная мощность электрооборудования выемочного участка достигает 1200 кВт. Увеличение среднего энергопотребления в течение рабочей смены на 30% повышает температуру вентиляционной струи в лаве при среднем расходе воздуха около 20 м<sup>3</sup>/с на 3-4°С.

Существенное влияние на формирование микроклимата рабочих мест оказывает тепловыделение от транспортируемого угля (8-15%) и от механической работы (до 20% общего теплового баланса лавы) транспортных установок при подаче свежей струи в лаву по конвейерным выработкам. Общий удельный вес этого тепловыделения в тепловом балансе выемочного участка на свежей струе может достигать 60%. Иногда прирост температуры воздуха на выемочном штреке только по указанной причине достигал 6-12°С. Затраты на охлаждение воздуха при конвейерном транспорте в 2-3 раза выше, чем при рельсовом. Разница по абсолютной величине достигает 0,5 грн./т.

Дополнительное нагревание свежей струи, поступающей в лаву, происходит при последовательном проветривании подготовительных, и очистных забоев, например, при сплошной системе разработки с опережением выемочного штрека. Разница температур воздуха, поступающего в лаву из подготовительного забоя и по выемочному штреку (например, с бремсберга), составляет 4-6°, вследствие чего у входа в лаву температура повышается на 1-2°С.

На климатические условия в очистных и вентиляционных выработках выемочных участков оказывают большое влияние также тепловыделения из выработанных пространств. Основную роль в нагреве играет конвективный теплообмен утечек воздуха с обрушенными породами, температура которых близка к естественной температуре горного массива. Фильтрующийся по трещинам метан, смешиваясь с утечками воздуха, также повышает его температуру. В условиях угольных пластов и пород, склонных к интенсивному низкотемпературному окислению, тепловыделение от окислительных процессов может нагреть газоздушную смесь выше температуры окружающих пород. Вся смесь при возвратной на массив схеме проветривания поступает в верхнюю часть лавы и в тупик погашения вентиляционного штрека. Повышение температуры воздушного потока по указанной причине может достигать 3-4°C.

Повышению температуры воздуха способствует также рост нагрузок на лавы и скорости подвигания очистных забоев, увеличение размеров сечений горных выработок, длины выемочных участков по простиранию.

Шахтная вода, поступающая в выработки с температурой, близкой к температуре окружающих их пород, не только увлажняет воздух, но и нагревает его. В обводненных выработках теплонасыщение воздуха происходит в 2-3 раза интенсивнее, чем в сухих.

На шахтах Германии на рабочие места шахтеров свежий воздух поступает с температурой 18-38°C (в среднем около 28°C и является предельной для нормального рабочего времени температурной границей). Относительная влажность воздуха колеблется в широком диапазоне - от 35 до 95%. Среднее значение этого показателя в очистных забоях составляет 70%. Средняя скорость вентиляционной струи в очистных выработках - 3 м/с. За 20 лет при коренных изменениях в технологии горных работ эффективные температуры повысились не более чем на 2°C. Это объясняется увеличением расхода воздуха в 2-3 раза.

Тяжелые тепловые условия в забоях являются одной из причин, снижающих технико-экономические показатели работы шахты. При работе в условиях повышенных температур снижается производительность труда до 4% на каждый градус температуры воздуха, превышающий установленную норму.

#### **4.4. Выбросоопасность пластов**

Из принятых проектами к отработке, шахтопластов в Донбассе около половины склонны к выбросам. Из них 94 шахтами разрабатывается 269 пластов, в том числе 178 опасных по выбросам. За период 1954-1978 гг. происходило ежегодно в среднем около 50 внезапных выбросов угля и газа и около 100 сходных с ними газодинамических явлений. Во всех других угольных бассейнах страны ежегодно происходит в среднем 9 внезапных выбросов угля и газа. Около 85-90% всех выбросов приурочены к выемочным участкам. Более половины (55%) всех выбросов имели место в лавах, 25,8% - в штреках. Внезапные выбросы угля и газа часто связаны с тяжелыми последствиями: выброшенным углем засыпаются горные выработки на значительные расстояния, выводится из строя горное оборудование, деформируется крепь, обрушаются породы, вы-

работки заполняются метаном. Это приводит к длительным остановкам работ и сопряжено с опасностью взрыва пылегазовой смеси. Ликвидация последствий выбросов снижает технико-экономические показатели работы шахт.

#### 4.5. Схемы проветривания выемочных участков и их классификация

##### 4.5.1. Основные классификационные признаки схем проветривания

Все схемы проветривания выемочных участков классифицируются по ряду вентиляционных признаков, характеризующих аэрогазодинамические особенности того или иного варианта (табл. 4.1).

Таблица 4.1.

Классификация схем проветривания

Наименование классов	Классифицирующий признак	Возможные варианты	Условные обозначения
Тип	Разбавление вредностей по источникам поступления	Последовательное Частично обособленное Полное обособленное	З
Подтип	Направление движения струи воздуха исходящей из лавы	На выработанное пространство На массив угля Комбинированное	В М К
Класс	Зависимость проветривания выемочных участков	Независимое Зависимое	Н З
Подкласс	Направление движения воздуха по очистному забою	Восходящее Нисходящее Горизонтальное	В Н Г
Вид	Взаимное направление свежей и исходящей струй	Возвратноточное Прямоточное	ВТ ПТ

По степени обособленности разбавления вредностей они разделяются на три группы. Для первой группы схем характерно последовательное движение воздушного потока по всем выработкам выемочного участка и постепенное загрязнение различными вредностями (рис. 4.5, а). Уже на откаточном штреке в свежую струю воздуха, поступает метан (углекислый газ) из транспортируемого угля и боковых стенок выработки, пройденной по пласту, пыль, сдуваемая с движущегося угля встречным потоком воздуха; происходит нагревание последнего за счет отдачи тепла боковыми породами, отбитым углем и местными источниками тепла (двигатели, механизмы и т.д.). Наиболее интенсивно загрязнение вентиляционной струи происходит в рабочем пространстве лавы. Кроме выделения, газа, тепла из разрабатываемого пласта и отбитого угля сюда выносятся газ из выработанного пространства, иногда в значительных количествах.

Резко возрастает запыленность воздуха, главным образом за счет работы выемочных механизмов и сдувания пыли, при существенной относительной скорости воздуха и транспортируемого или подающего угля (на крутых пластах). Дополнительно возрастает температура в конце лавы при поступлении утечек воздуха из выработанного пространства, имеющих температуру, близкую к температуре боковых пород.

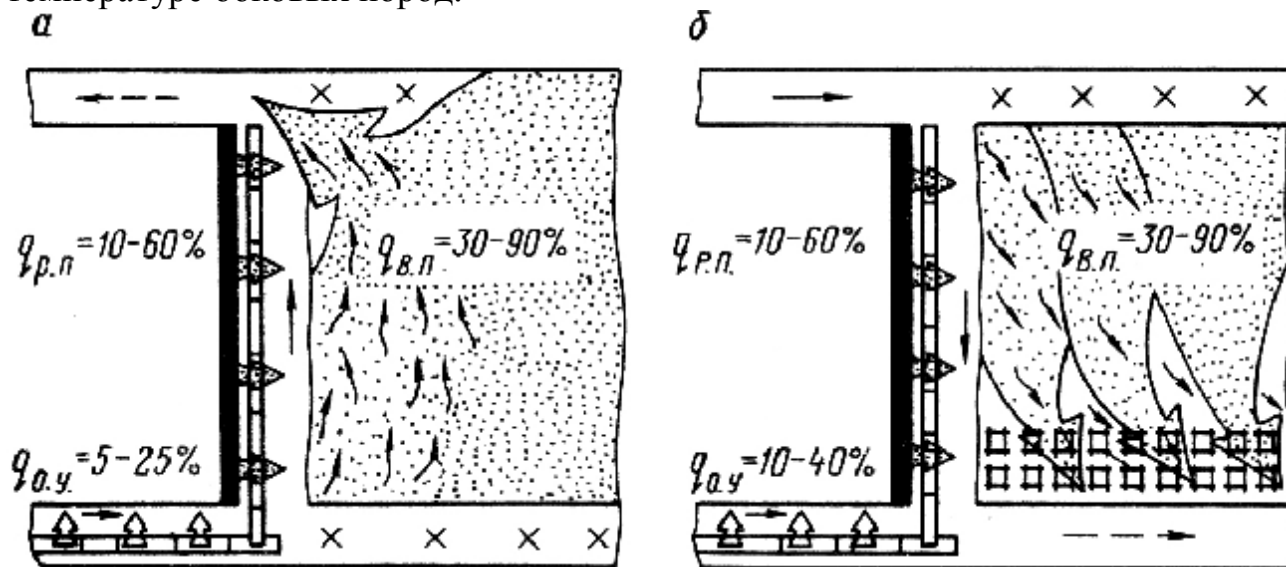


Рис. 4.5 – Основные способы разбавления и удаления вредностей на выемочных участках: *а* – последовательный; *б* – обособленный.

Дальнейшее загрязнение воздушного потока (особенно газом) имеет место и на вентиляционном штреке, достигая предельно допустимых концентраций. Схемы этой группы до недавнего времени практически были единственными на шахтах и остаются пока наиболее распространенными.

Третья группа схем характеризуется полным обособленным разбавлением вредностей по источникам поступления в рудничную атмосферу. Она разработана ДонУГИ на основе принципиально нового способа преодоления газового барьера средствами вентиляции. Сущность его заключается в следующем. Весь воздух, который можно пропустить по рабочему пространству лавы как ограничивающему звену расхода воздуха на участке, используется только для разбавления и удаления вредностей, выделяющихся в этом пространстве. Остальные вредности из других трех основных источников разбавляются и удаляются другими (другой) струями воздуха, минуя лаву (рис. 4.5, *б*). Для реализации данного способа предложено несколько десятков схем проветривания выемочных участков.

В литературе иногда такие схемы называют схемами с подсвежением, что принципиально неправильно. Схемы с подсвежением известны давно. Еще проф. М.М.Протождяконов рассматривая варианты проветривания двух этажей, рекомендовал испорченную после нижнего этажа струю воздуха и направляемую во второй этаж разбавлять свежей. Встречающиеся затем в литературе схемы проветривания уже выемочных участков и весьма редкие случаи их применения на практике решали только один узкий вопрос - снижение concentra-

ции метана, выходящего из выработанного пространства подсвежающей струей по верхнему вентиляционному штреку, т. е. частичное снижение вредного влияния только из одного источника, а не комплекса вредностей из всех источников.

Вторая группа схем занимает промежуточное положение между двумя рассмотренными и обеспечивает частичную обособленность разбавления вредностей по источникам поступления. Разработано большое число вариантов таких схем с различной степенью обособленности разбавления вредностей. Одни из них по указанному показателю очень близки к схемам третьей группы, другие - к первой и многие занимают промежуточное положение. В определенных горно-геологических условиях они могут полностью решать те же задачи, что и схемы третьей группы.

В пределах выемочных участков исходящая из очистной выработки струя может выдаваться по вентиляционной выработке в сторону выработанного пространства этой лавы) или в направлении обрабатываемого массива угля (на массив угля); или иногда воздух, раздваиваясь, направляется в обе стороны, т.е. часть его идет на выработанное пространство, другая - на массив угля (комбинированное). Направлением выдачи этой исходящей струи в основном определяется и направление выноса метана из выработанного пространства: на вентиляционную выработку или в верхнюю часть лавы и на сопряжение ее с этой выработкой. Этим обстоятельством в значительной степени определяется вероятность образования слоевых и местных скоплений метана и, следовательно, безопасность ведения работ.

Отработка выемочных участков ведется одиночными или спаренными (иногда сдвоенными) и очень редко строенными лавами. Во втором случае выработанное пространство двух действующих лав с аэрогазодинамической точки зрения является общим. При изменении расхода воздуха в лавы меняется и депрессионное поле: величина и направление утечек воздуха и, следовательно, направление выноса метана. В выработки одной из лав может поступать газ не только из своего выработанного пространства, но и из выработанного пространства соседней лавы. Это приводит, как правило, к “неожиданному” увеличению концентрации метана, образованию слоевых и местных скоплений его. Поэтому все схемы проветривания выемочных участков по рассматриваемому фактору можно разделить на два класса: с независимым выработанным пространством - одиночные лавы и с зависимым, например, участки при отработке спаренных лав.

При выемке, пласта лавами по простиранию направление движения воздуха в них может быть восходящим или нисходящим. На газовых шахтах применение последнего ограничивается углом падения пласта (до  $10^\circ$ ) и допускается в остальных случаях при выполнении ряда условий. При отработке пласта лавами по восстанию (падению) движение струи воздуха в очистной выработке является горизонтальным.

И, наконец, в зависимости от отношения направления свежей и исходящей струй воздуха по выработкам выемочного участка различают возвратно-точную и прямоточную схемы их проветривания. При применении таких схем в

их классическом виде они понимаются и истолковываются однозначно. Однако в последние годы появился ряд разновидностей их, когда, например, исходящая из лавы струя на небольшом (40-100 м) участке идет в том же направлении, что и свежая, а затем по сбойке и другой параллельной выработке возвращается назад. Одни относят такой вариант к возвратноточным, другие - к комбинированным, третьи - к прямоточным. Однако определяющим является движение струи на участке, непосредственно примыкающем к лаве, так как им определяется характер выноса метана из выработанного пространства и опасность образования слоевых и местных скоплений метана. Поэтому такие схемы следует относить к прямоточным.

#### **4.5.2. Варианты схем проветривания**

Условные обозначения классифицирующих признаков позволяют кратко записать тот или иной вариант схемы проветривания. Например, 3-В-Н-Н-пт-к означает прямоточную схему проветривания полным обособленным разбавлением и удалением вредностей по источникам поступления в рудничную атмосферу при выдаче исходящей из лавы струи в сторону выработанного пространства, с независимым (одиночная лава) и прямоточным проветриванием при нисходящем направлении движения струи воздуха по лаве.

Наиболее характерные и распространенные на практике схемы проветривания участков приведены на рис. 4.6. Всего же известно более двухсот различных вариантов таких схем.

Использование различных вариантов схем проветривания выемочных участков в Донецком бассейне свидетельствует о том, что на абсолютном большинстве (70-90%) выемочных участков применяются схемы проветривания с последовательным разбавлением вредностей по источникам поступления (СППРВ).

Максимальное количество участков со схемами проветривания с обособленным разбавлением вредностей (СПОРВ) работает на шахтах Донбасса, хотя удельный вес их еще не значителен (7,5% общего числа участков).

### **4.6. Технологические и эксплуатационные требования к схемам проветривания выемочных участков**

#### **4.6.1. Основные недостатки применяемых схем проветривания**

Применяемые схемы проветривания участков с последовательным разбавлением вредностей (СППРВ) имеют ряд серьезных недостатков. Основными из которых являются:

1. Ограничение нагрузки на лаву по газовому фактору или фактору вентиляции. Расход воздуха на выемочном участке при схемах этой группы лимитируется пропускной способностью очистной выработки.

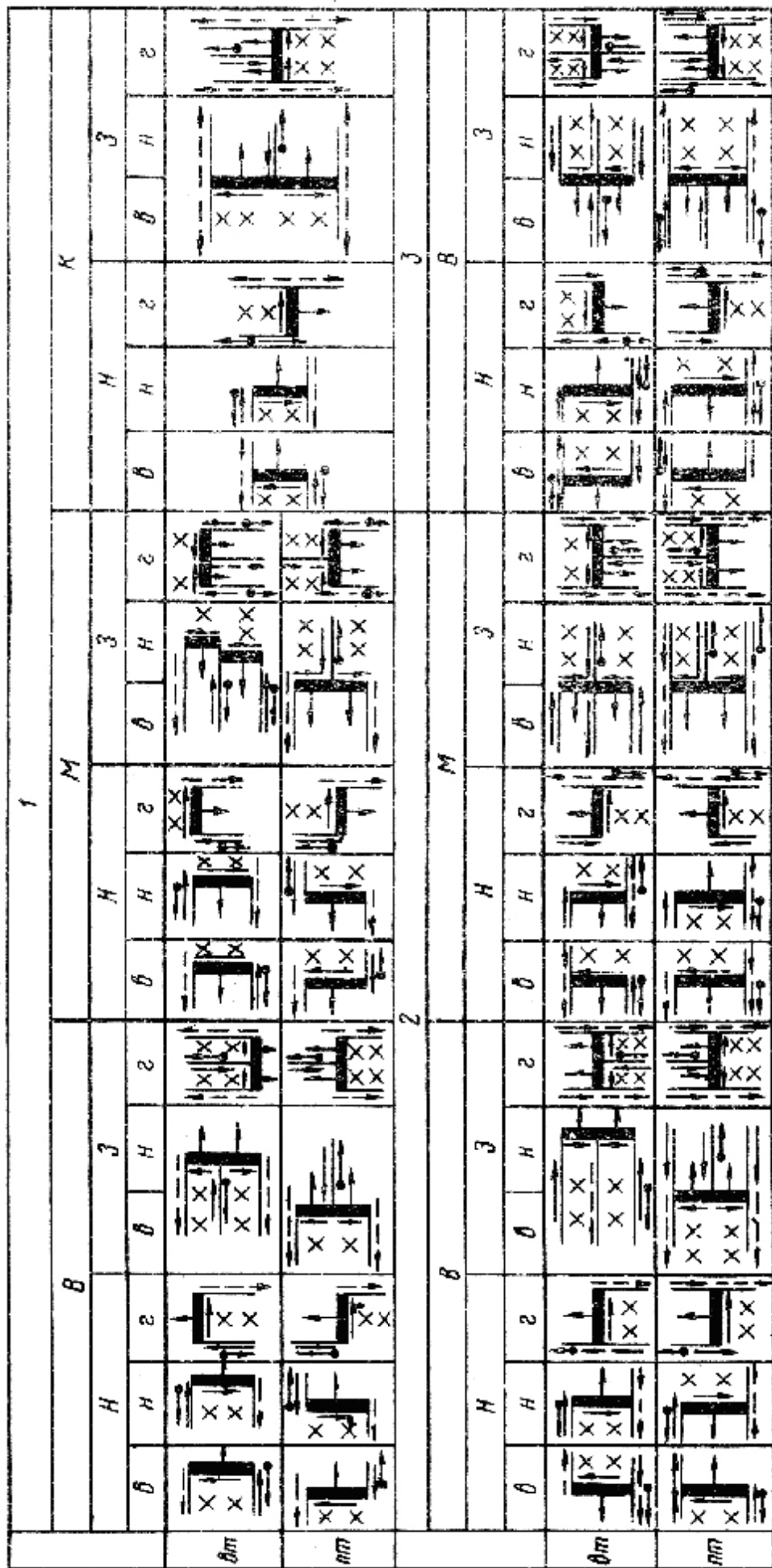


Рис. 4.6. Основные варианты схем проветривания выемочных участков

Усложнение же условий отработки угольных пластов (рост газообильности, температуры, запыленности) при переходе на более глубокие горизонты и одновременное увеличение нагрузки на очистные забои требует подачи на участок всевозрастающего количества воздуха. Оснащение шахт механизированными комплексами при этом, наоборот, приводит к уменьшению живого сечения очистной выработки. Так, при мощности пласта 1,3 м площадь поперечного сечения призабойного пространства, свободного для пропускания воздуха, при механизированных комплексах КМ-87 в 1,5 раза меньше, чем при индивидуальной крепи. Для большинства условий газовых шахт Донбасса предельная нагрузка на лаву составляет 300-400 т/сутки, что резко ограничивает возможности современной выемочной техники. Увеличение же скорости воздуха по лаве свыше 4 м/с резко повышает его запыленность и снижает эффективность мер борьбы с пылью, во многих случаях даже полностью сводит на нет все эти меры.

Содержание металла часто составляет 0,15-0,25%, особенно при сплошной системе разработки с опережающим выемочным штреком, а в ряде случаев достигает и 0,5%. Запыленность воздуха перед лавой при конвейерном транспорте угля, как правило, не менее нескольких десятков мг/м<sup>3</sup>. Нагревание вентиляционной струи воздуха только на выемочной выработке составляет несколько градусов, а тепловыделение 20-40% в тепловом балансе этой выработки только от конвейерного транспорта.

2. Образование слоевых и местных скоплений метана. При сплошной системе разработки вся порода от проведения вентиляционного штрека закладывается в бутовую полосу под вентиляционным штреком. На тонких пластах ширина ее часто составляет 30-40 м и имеет, следовательно, высокое аэродинамическое сопротивление. Вследствие этого часть метана из выработанного пространства поступает в рабочее. При этом у нижней кромки бутовой полосы, в лаве содержание его может превышать допустимую норму, образуя местное скопление. Опасность такого образования возрастает при пневматической выкладке бутовой полосы, когда плотность ее существенно возрастает. Иногда наблюдаются слоевые скопления вдоль бутовой полосы на вентиляционном штреке при значительном газовыделении из выработанного пространства, особенно при небольшой скорости воздушного потока в выработке, на его участке, примыкающем к лаве. Для сплошной системы характерно именно хорошее состояние этого штрека на данном участке при максимальном (проектном) поперечном сечении. Наиболее характерно образование слоевых и местных скоплений метана на сопряжении лавы с вентиляционным штреком при наиболее прогрессивной столбовой системе разработки. Их образование наблюдается при газовыделении из выработанного пространства уже при 1-2 м<sup>3</sup>/мин, а при разработке мощных пластов в Кузбассе даже при 0,5 м<sup>3</sup>/мин.

3. Снижение безопасности при аварийных ситуациях (пожар, взрыв и т.д.) на выемочном откаточном штреке. Все люди, находящиеся в лаве указываются в опасной зоне, куда направляются с вентиляционной струей ядовитые продукты.



4, Низкая эффективность дегазации пластов-спутников скважинами при наиболее распространенной столбовой системе разработки и возвратноточной схеме проветривания из-за короткого срока их службы.

Эти и другие недостатки еще более усугубляются при разработке пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Внезапные выбросы угля, породы и газа, как правило, приводят к нарушению-вентиляции: изменению расхода воздуха и загазированию выработок. Травматизм при выбросах возрастает с увеличением интенсивности выбросов. При выбросах не исключается повреждение находящихся на участке электрооборудования, кабелей и, т.д., что может дополнительно усложнить тяжесть последствий выброса. Степень нарушения вентиляции и безопасность находящихся на участке людей в значительной степени определяются применяемой схемой проветривания. С точки зрения вентиляции и возможности уменьшения опасности от загазирования выработок все выбросы в первом приближении можно разделить на три группы: умеренные (с массой выброса до 200 т); сильные (200-500 т); мощные (свыше 500 т).

Анализ данных МакНИИ показывает, что на первую группу приходится 93,2 и 88,4% выбросов соответственно (при этом 75,3 и 66,6% составляют выбросы с массой выброшенного угля до 50 т), на вторую - 5,16 и 8,8% и третью - 1,64 и 2,8%. Сравнение данных по периодам указывает на рост интенсивности выбросов по мере перехода на более глубокие горизонты. Наиболее существенное влияние при выбросах на состояние проветривания горных выработок оказывает масса выброшенного угля и интенсивность по твердой фазе. При выбросах угля первых двух групп она не превышает 8 т/с, породы - 65 т/с (табл. 4.2).

С увеличением интенсивности растет дальность отброса угля и породы. Средняя величина ее в очистных выработках пологих пластов составляет 35 м при выбросах от 100 до 200 т, максимальная - 90 м и превышает аналогичные значения для лав на крутых пластах и в подготовительных выработках. В таких же пределах находится дальность отброса и при выбросах породы. На шахтах Донбасса не было случаев, когда дальность отброса угля или породы превышала 100 м при выброшенной массе до 500 т.

Продолжительность разрушения угля в основной фазе при выбросе 200 т угля составляет около 35 с, 500 т - почти в два раза больше. Время же протекания выброса породы по сравнению со временем выброса угля и газа при одинаковой интенсивности почти на порядок меньше, т.е. породные выбросы более динамичны. Средняя скорость выноса угля при выбросе, вызванном сотрясательным взрыванием колеблется от 31 до 50 м/с, скорость отброса породы 20-40 м/с. Продолжительность предвыбросной и послевыбросной фаз; во времени колеблется в широких пределах и равна от одной или нескольких секунд до нескольких минут или десятков минут.

Таким образом, в течение очень короткого промежутка времени горная выработка (или выработки) оказывается засыпанной полностью или частично выброшенным углем или породой. Их аэродинамическое сопротивление увеличивается от нескольких процентов до сотен и тысяч раз. Вследствие этого расход воздуха в выработке и на выемочном участке соответственно снижается, в отдельных случаях вплоть до полного прекращения проветривания.

Таблица 4.2.

## Показатели выбросов

Наименование показателей	Выброс	Масса выбросов, т				
		100	200	300	500	1000
Дальность отброса в очистной выработке пологого пласта, м	угля	15(30)	35(90)	(75)	35(45)	
Тоже пласта крутого падения	угля	8(15)	15(28)	6(9)		(20)
В подготовительной выработке	угля	15(45)	25(85)	40(80)	40(80)	80(140)
Продолжительность разрушения в основной фазе, с	угля	20,2	34,7	47,3	66,4	79,1
	породы	3,7	4,6	5,5	7,2	11,7
Скорость распространения газовоздушного потока, м/с	угля	2	2,5-4	4-6	-	-
	породы	5-10	5-10,5	5,5-11	8-12	8-14
Длина загазированной выработки по свежей струе, м	угля	40	88-140	190-280	-	-
	породы	18-37	23-40	30-60	44-88	95-165
Скорость перемещения фронта возмущения потока	угля	400	500			
	породы	340	350			
Избыточное давление в аэродинамической волне, МПа		0,001-0,017	0,003-0,03	0,005-0,035	0,007-0,04	0,01-0,07
Интенсивность по твердой фазе, т/с	угля	5	5,7	6,5	7,6	12,6
	породы	30	43	55	65	90
Дебит газа, м <sup>3</sup> /с	породы	45-90	70-140	100-200	125-250	250-500

Нарушение вентиляции, при выбросах в очистных выработках крутых пластов происходит почти в половине случаев, а в четверти - воздух в лаву практически не поступает. Меньше нарушений проветривания (до 30%) в лавах пологих пластов, здесь почти нет случаев полного прекращения проветривания;

При выбросах в тупиковых выработках проветривание их прекращается, как правило, вследствие нарушения целостности вентиляционного трубопровода. Кроме того, в зависимости от способа подготовки, схемы вентиляции, системы разработки, интенсивности выброса и других, факторов, они оказывают влияние на расход воздуха, как на выемочном участке, так, и в прилегающих выработках. Так, при сплошной системе разработки с опережающим откаточным штреком, выброшенным углем могут быть перекрыты полностью или частично проходы в лаву и тогда нарушится проветривание всего выемочного участка. При этом возрастает опасность травматизма, затрудняется ведение горноспасательных работ.

Выделяющийся при выбросе большой объем газа распространяется по горным выработкам. В период основной фазы происходит напорное движение газа во всех направлениях. Наибольшую опасность представляет распространение его навстречу свежей струе. При определенной интенсивности выброса свежая струя в выработке или выработках опрокидывается.

Значение абсолютного и относительного газовыделений зависят от конкретных горно-геологических условий, газоносности пласта, степени его нарушения и др. Анализ выбросов угля и газа в Донбассе, спровоцированных взрывными работами, показывает, что среднее значение относительного газо-

выделения при этих явлениях на пластах с природной газоносностью более 20 м<sup>3</sup>/т примерно в 3 раза выше, чем на пластах с газоносностью до 20 м<sup>3</sup>/т. Относительное газовыделение изменяется в очень широких пределах и в ряде случаев, в том числе и в Донецком бассейне, в несколько раз превышает природную газоносность угольных пластов (табл. 4.3). Аномально высокие значения относительного газбывыделения (более 100 м<sup>3</sup>/т; в Донбассе характерны, как правило, для внезапных выбросов небольшой интенсивности (1,5-11 т).

Таблица 4.3.

Газовыделение при внезапных выбросах угля

Абсолютное газовыделение, м <sup>3</sup>		Относительное газовыделение, м <sup>3</sup> /т	
Диапазон изменения	Среднее значение	Диапазон изменения	Среднее значение
18 - 130000	4838	4 - 233	46

При выбросах угля, связанных с взрывными работами, относительное газовыделение почти в два раза выше. Это связано, видимо, с тем, что взрывные работы применяются в наиболее выбросоопасных, газоносных и нарушенных участках пластов и что они оказывают наибольшее (по сравнению с другими технологическими процессами) - динамическое воздействие на пласт и боковые породы.

Среднее относительное газовыделение метана при выбросах на шахтах ФРГ глубиной свыше 1150 м равнялось примерно 30 м<sup>3</sup>/т. При этом количество выброшенного за один случай угля составляло 300-600 т, а выделившегося метана - 10-20 тыс.м<sup>3</sup>.

Наиболее важным с точки зрения вентиляции является показатель максимального объемного расхода выбросоопасного материала. МакНИИ указывает, что при отдельных выбросах газовый поток достигает величины 40 м<sup>3</sup>/с, а затем убывает по зависимости, близкой к гиперболической. Более полные данные получены ИГТМ при выбросах песчаников в Донбассе. Дебит газа при выбросах до 200 т достигал 140 м<sup>3</sup>/с, а 1000 т - 500 м<sup>3</sup>/с. По результатам экспериментальных исследований в подготовительной выработке на шахте "Глубокая" (Донбасс) установлено, что скорость распространения фронта концентрации метана при выбросах до 600 т не превышает 5 м/с. При выбросах, породы она выше в 1,5-2,5 раза, в зависимости от аэродинамического сопротивления шахтной вентиляционной сети.

Максимальная протяженность сквозных выработок со свежей струей, загазированных метаном, очевидно, определяется в основном продолжительностью только основной фазы выброса и скоростью распространения газоздушного потока. После завершения основной фазы выброса направление потока воздуха восстанавливается за счет депрессии главного вентилятора. Расчеты показывают, что при выбросе угля первой группы длина такой загазированной зоны не превышает 150 м, второй - может достигать 800 м. При выбросах породы эта длина существенно меньше.

В тупиковой выработке протяженность загазированной зоны определяется отношением выделившегося газа к сечению ее с учетом коэффициента

$K=0,8$ . Коэффициент  $K$  учитывает степень изменения расхода воздуха в выработках при изменении интенсивности выделения дополнительного объема газа. Протяженность рассматриваемой зоны в тупиковых выработках больше в несколько раз по сравнению с таковой в сквозных выработках.

Вынос при внезапном выбросе за небольшой промежуток времени больших масс угля (породы) и газа сопровождается возмущением потока воздуха и возбуждает в атмосфере горных выработок воздушную ударную волну (ВУВ). Скорость перемещения его фронта или ВУВ превышает скорость звука, т.е. почти на два порядка превышает скорость перемещения метанового потока. Замеренные скорости перемещения фронта возмущения при выбросах песчаника с массой 100, 300 и 2300 т на расстояниях от 60 до 395 м от забоев имели практически одинаковые значения - 340-350 м/с. По данным МакНИИ при выбросах угля массой от 22 до 62 т и газа от 76 до 236 м<sup>3</sup> на пласте "Дерезовка" скорость ВУВ составляла 400-500 м/с. Величина избыточного давления, характер его изменения и время действия зависят от интенсивности выноса твердых и газообразных составляющих, интервала времени основной фазы выброса и условий распространения ВУВ. Избыточное давление по данным ИГТМ за фронтом ВУВ выброса 100 т песчаника составило на расстоянии 60 м от забоя 3500 Па, 300 т на расстоянии 130 м - 3800 Па, 2300 т на расстоянии 305 м - 9000 Па. При этом время действия этого давления находилось в интервале порядка 1-30 с.

Динамические и статические импульсы давления для первых двух выбросов соответственно равны 140-450 м и 300-1500 Па/с.

Максимальная величина импульса давления в период протекания выброса находится у обнаженной поверхности полости выброса. Затухание давления по горным выработкам на фронте ВУВ при выбросах происходит значительно медленнее, чем например, при взрывах зарядов ВВ. Так, например, градиент избыточных давлений вдоль выработки при выбросах был равен примерно 10 Па/м, а при взрывах в три раза выше. Это отличие объясняется большей длительностью выброса по сравнению с разрушением пород при взрыве, в связи, с чем в активный период формирования аэродинамического возмущения величина энергии, накапливаемой в нем, оказывается значительно выше.

Избыточное давление с удалением от очага возбуждения уменьшалось, вначале незначительно на расстояниях до 200-250 м, а затем резко падало. Время действия положительного избыточного давления ВУВ от очага возбуждения увеличивалось, достигая максимального значения на расстояниях порядка 200-220 м, а затем резко уменьшалось. Импульс положительного избыточного давления достигал максимального значения на расстояниях порядка 150 м.

ВУВ усиливает, останавливает или опрокидывает вентиляционную струю. Опрокидывание свежей струи происходит часто на значительной длине, включая (при выбросах большой интенсивности) и воздухоподающий ствол. Это не значит, что все эти выработки будут загазированы. Последнее наблюдается на небольшой длине. Нарушения вентиляции, вызванные опрокидыванием свежей струи, длятся обычно недолго (всего, на сколько секунд, иногда нескольких десятков секунд), т.е. не более продолжительности выброса в основной фазе.

Достаточно характерным из первой группы является выброс в 4-й западной лаве пласта  $h_{10}$  шахты "Глубокая" в Донбассе. Система разработки - сплошная, схема проветривания - возвратноточная. Максимальный общий дебит метана на участке -  $21 \text{ м}^3/\text{мин}$ , из них дегазационной системой отводилось  $12-14 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Выброс угля (около 200 т) произошел при работе выемочного комбайна у геологического нарушения.

Полость выброса расположена между 80 и 44 м от нижнего штрека. Выброшенным углем засыпано не на полное сечение призабойное пространство нижней части лавы на длине 55 м. Дебит метана после прибытия ВГСЧ на аварийный участок составлял  $32 \text{ м}^3/\text{мин}$  при средней его концентрации более 4%. Повышенное газовыделение наблюдалось еще в течение 28,5 ч (рис. 4.7, кривые 1 и 2). По отношению к нормальному уровню дополнительно выделилось  $13200 \text{ м}^3$  метана. Количество метана отводимого дегазационной системой, не изменилось.

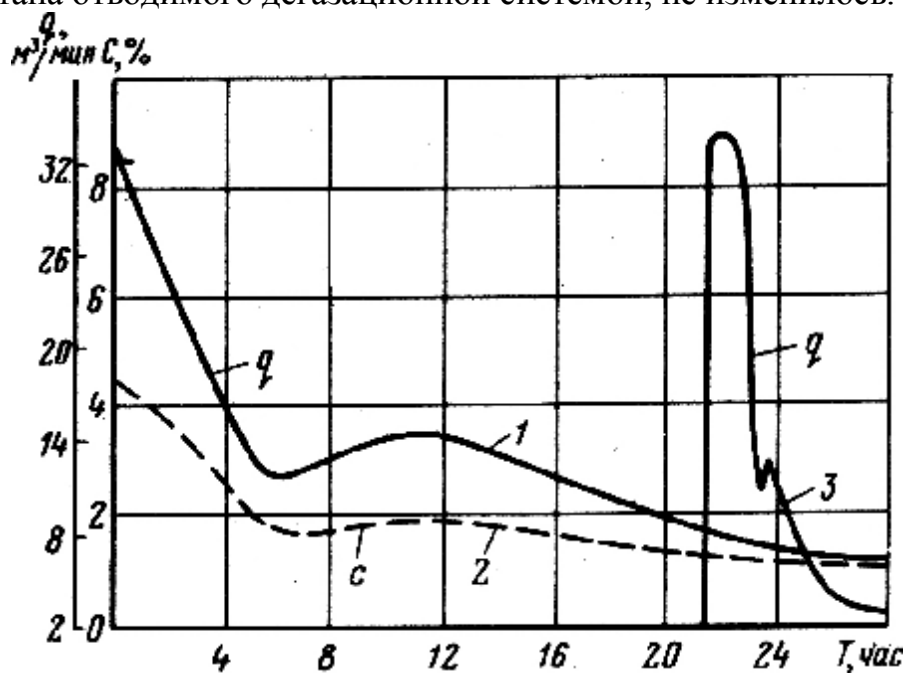


Рис. 4.7. Изменение концентрации и дебита метана в выработке после выброса угля (кривые 1 и 2), песчаника (кривая 3) и газа

С увеличением интенсивности выбросов последствия их становятся все более тяжелыми. На шахте "Юный Коммунар" ПО "Орджоникидзеуголь" в забое откаточного штрека гор. 716 м пласта  $K_3^B$  было выброшено 1530 т угля. Расчетное количество выделившегося при выбросе метана составило примерно 25 тыс.  $\text{м}^3$ . Опережение очистных работ забоем откаточного штрека сечением в свету  $6,8 \text{ м}^2$  составляло 50 м.

Процесс выброса сопровождался кратковременным опрокидыванием воздушной струи двумя следовавшими друг за другом сильными звуковыми ударами, напоминающими взрыв ВВ при взрывных работах. Выделившимся газом (концентрация  $\text{CH}_4$  до 70%) были заполнены откаточный штрек и лава, а также после восстановления нормального направления свежей-струи горные выработки пласта  $K_3^B$ , соединенные промежуточным квершлагом с откаточным штре-

ком (рис. 4.8). Выброшенным углем был засыпан откаточный штрек на протяжении 213 м от забоя, из которых 115 м на полное сечение. Это привело к увеличению аэродинамического сопротивления выемочного участка и снижению более чем в два раза расхода воздуха в нем. Выбросом выбито и деформировано 5 рам арочной металлической крепи в призабойной части штрека и изогнут буровой став станка.

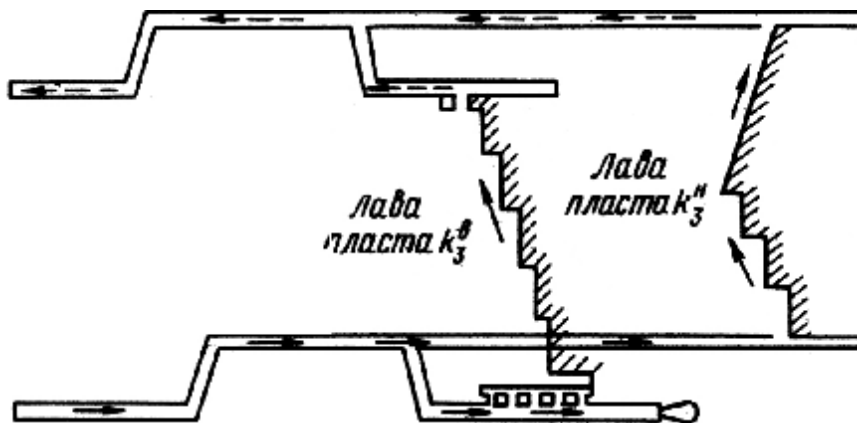


Рис. 4.8. Схема проветривания вентиляционного участка шахты «Юный Коммунар».

Одной из основных причин, усугубивших тяжесть последствий выброса, является последовательное проветривание очистных и подготовительных выработок, а также несовершенство схемы вентиляции в целом.

Основной схемой проветривания выемочных участков на выбросоопасных пластах Донбасса (более 53%) является возвратночная с выдачей исходящей струи на выработанное, пространство (сплошная система разработки), т.е. с последовательным проветриванием подготовительных и очистных работ. Одна треть лав проветривается по возвратночной на массив угля (столбовая система разработки) и только 14,6% - по схемам с обособленным разбавлением вредностей по источникам поступления. При этом следует отметить, что все без исключения выемочные, участки на выбросоопасных пластах относятся к газовым, причем газообильность их значительно выше. Так, если в целом по Донбассу только 17% участков, (включая и на выбросоопасных пластах) имеют метанообильность свыше 5 м/мин (что удаляется вентиляцией, исключая дегазацию), то на выбросоопасных пластах она более указанной величины уже на половине участков. Чем выше степень выбросоопасности пласта, тем больше газовыделение на выемочном участке. Например, на особо выбросоопасных пластах оно выше в среднем в два раза, чем по участкам на угрожаемых пластах.

Таким образом, применяемые на выбросоопасных пластах Донбасса в основном схемы проветривания выемочных участков с последовательным разбавлением вредностей, а также панелей (блоков) имеют ряд существенных недостатков, к которым относятся:

- последовательное проветривание подготовительных и очистных работ;

- непосредственная аэродинамическая связь двух и более очистных выработок (например, при спаренных лавах и т.д.);
- проведение, как правило, двух выемочных выработок для отработки лавы, забои, которых являются наиболее опасными местами выбросов;
- высокая вероятность нарушения проветривания выемочного участка и очень низкие возможности увеличения расхода воздуха на нем после выброса.

При самой распространенной возвратноточной схеме проветривания с выдачей исходящей струи на выработанное пространство (сплошная система) происходит наибольшее количество выбросов с наиболее тяжелыми последствиями, особенно при спаренных лавах. В последних число подвергающихся опасности людей при выбросе увеличивается в два раза. При выбросе в любом из забоев (очистном или подготовительном) почти все люди, находящиеся на участке, оказываются в опасной среде. Резко возрастает вероятность травматизма, в особенности от асфикции.

При схемах проветривания с двумя свежими струями в более благоприятных атмосферных условиях, не требующих даже применения изолирующих самоспасателей, находится на участке значительное число людей. При некоторых вариантах таких схем, особенно при столбовой системе разработки, их удельный вес может достигать 50-70%.

Таким образом, при применении схем с обособленным разбавлением вредностей создается более благоприятная обстановка на участке даже в случае сильного выброса: существенно уменьшается число людей, подвергающихся опасности асфикции, практически устраняется опасность полного прекращения подачи воздуха, обеспечиваются лучшие условия вывода людей на свежую струю и движение горноспасателей к месту аварии, расширяется возможность безопасного совмещения различных работ на участке.

Частота внезапных выбросов при столбовой системе разработки, как уже указывалось, в несколько раз ниже. Однако наибольшая опасность проявляется при этой системе в подготовительных выработках в период подготовки столбов. Применение же сотрясательного взрывания в таких выработках создает более безопасные условия труда, и выбросы заканчиваются, как правило, благополучным исходом. Трудность проведения подготовительных выработок на пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа, в среднем на 30% выше, чем на неопасных. Поэтому очень важно снизить число выработок для подготовки столба к выемке, как это наиболее эффективно осуществляется в схемах с обособленным разбавлением вредностей.

За счет повторного использования выемочной выработки объем подготовки сокращается в два раза и, следовательно, во столько же вероятность выбросов угля и газа.

Кроме того, при столбовой системе разработки создаются более благоприятные условия применения региональных мероприятий или более обоснованного выбора противовыбросных мероприятий, ликвидации ниш за счет выноса головки конвейера в выемочную выработку, более интенсивного ведения очистных работ и т.д. Так, ликвидация ниш исключает в них ведение работ по отбойке угля сотрясательным взрыванием и др., что по сравнению со сплошной

системой разработки обеспечивает повышение нагрузки на забой на 43%. Сокращается также количество людей, одновременно находящихся на участке, за счет исключения проходческих работ и уменьшения объема ручных работ по выемке ниш и т.д., т.е. подвергающихся опасности при выбросе.

#### **4.6.2. Особенности проветривания выемочных участков, разрабатывающих пласты, представленные углями, склонными к самовозгоранию**

Переход на отработку глубоких горизонтов сопровождается ростом числа склонных к самовозгоранию шахтопластов. В настоящее время только в Донбассе 180 лавами на 66 шахтах отрабатывается 122 шахтопласта, угли которых склонны к самовозгоранию. Согласно действующим правилам безопасности, проветривание выемочных участков должно быть на таких пластах возвратноточным с выдачей исходящей струи на массив угля (столбовая система разработки). Применение схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей с выдачей исходящей на выработанное пространство допускается при условии надежной изоляции выработанного пространства. При этом предполагается, что такие схемы обеспечивают минимальные величины утечек воздуха через выработанное пространство и зоны их распространения. Выработанное пространство вне зоны утечек заполняется метаном и содержание кислорода в нем, начиная с некоторого расстояния от забоя, снижается практически до нуля.

Такое положение должно было бы обеспечить существенное снижение опасности самовозгорания угля в выработанном пространстве. Однако, как показала практика, применение столбовой системы разработки с возвратноточной схемой проветривания не только не является радикальным средством предупреждения самовозгорания угля, но и не уменьшает вероятности возникновения пожаров.

Обширные статистические материалы по эндогенным пожарам не дают возможности сделать убедительные выводы о безопасности той или иной схемы проветривания при разработке самовозгорающихся углей. Схемы с выдачей исходящей струи на массив (столбовая система разработки) с выдачей на выработанное пространство (сплошная система) оказались на практике с точки зрения эндогенной пожароопасности эквивалентными.

Установлено, что с увеличением скорости подвигания очистного забоя снижается опасность самовозгорания. Быстрое подвигание их обеспечивает минимальный срок нахождения оставленного в выработанном пространстве угля в зоне опасных утечек воздуха. Опыт работы показывает, что при скорости подвигания забоя 50 м/мес. и более эндогенные пожары очень редки, поэтому схема проветривания должна обеспечить скорость подвигания лавы более указанной величины. Однако абсолютное большинство (~90%) выемочных участков на пластах с самовозгорающимися углями являются газовыми, причем на большей половине их относительная газообильность превышает 10 м<sup>3</sup>/т. Поэтому возвратноточная схема проветривания с выдачей исходящей струи на массив угля и при скорости подвигания очистного забоя 50 м/мес. и более, как правило, уже не обеспечивает безопасных по газовому фактору условий рабо-



ты. В основном по этой причине на большинстве выемочных участков на пологих пластах применяется возвратноточная схема проветривания с выдачей исходящей на выработанное пространство, но все возвратноточные схемы ограничивают нагрузку на лаву по фактору вентиляции.

Требование надежной изоляции выработанного пространства при применении схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей приводит к полной утрате преимуществ этих схем. Надежная изоляция должна исключить поступление утечек из выработанного пространства в исходящую вентиляционную выработку. Но тогда весь метан утечками воздуха будет выноситься в призабойное пространство лавы с образованием местных и слоевых скоплений в опасных концентрациях. Практически эффективная схема превращается в обычную возвратноточную с выдачей исходящей, на массив угля со всеми ее недостатками, что достаточно убедительно подтверждено практикой.

Для оценки пожароопасности основных вариантов схем проветривания Донуги проведены шахтные наблюдения за изменением концентрации кислорода и метана в выработанных пространствах четырех лав. За критерий оценки пожароопасности принята концентрация кислорода, как практически наиболее доступный показатель при шахтных исследованиях и как величина, пропорциональная интенсивности тепловыделения при окислении.

С целью максимального исключения влияния трудноисследуемых (а, следовательно, и моделируемых) факторов, таких, как фильтрационные характеристики вмещающих пород, характер разгрузки угленосной толщи, диффузия метана в пористой среде и т.п. наблюдения в трех лавах (на шахтах им. Бажанова и "Чайкино") производились на одном пласте ( $m_3$ ) примерно на одной глубине. Все лавы характеризовались примерно одинаковыми условиями: мощность пласта - 1,4-1,5 м, угол залегания - 11-14°, длина - 180-200 м, расход воздуха по лаве 10-15 м<sup>3</sup>/с. Метанообильность (за вычетом дегазации) - 14,4-18,8 м<sup>3</sup>/т. Исследовались три схемы: с обособленным разбавлением вредностей и выдачей исходящей на выработанное пространство (3-В) и на массив угля (2-М), а также возвратноточная с выдачей исходящей на массив угля (1-М). Участки, проветриваемые по первым двум схемам, имели в два раза более высокую скорость подвигания лав (60 м/мес.).

Выемочный участок четвертой лавы исследовался на пласте  $l_1$  шахты им. РККА и проветривался по схеме 1-М.

Методика наблюдений заключалась в следующем. В выработанном пространстве на почве за линией обрезающей крепи устанавливалось газотермоизмерительное устройство. Оно представляло собой, став состыкованных буровых труб, в которых помещалось шесть (по числу замерных точек, расположенных вдоль лавы) полиэтиленовых трубок различной длины. Конец каждой трубки был выведен на вентиляционную выработку. По мере отхода лавы производился отбор проб газовой смеси из выработанного пространства. Производились также газозаборные и депрессионные съемки выемочных участков. В выработанном пространстве лав, проветриваемых по схемам 1-М и 2-М, были установлены по два газотермоизмерительных устройства на расстоянии друг от друга 54 и 83 м соответственно. В результате проведенных наблюдений полу-

чены данные об изменении концентрации метана и кислорода на удалении от забоя до 520 м. Результаты замеров для наиболее характерных точек выработанного пространства представлены на рис. 4.9.

Анализ экспериментальных результатов показал, что на всех участках высокой концентрацией кислорода. Кривые концентраций кислорода монотонно убывают на некотором расстоянии, затем снова возрастают, т.е. изучаемые распределения имеют экстремальный характер. Это свидетельствует об изменении соотношений между плотностями утечек и метанопоступления. Очевидно, это связано с постепенной разгрузкой удаленных спутников. Снижение дебита и концентрации метана вызывается уменьшением интенсивности газовыделения из спутников и наличием еще значительных утечек воздуха.

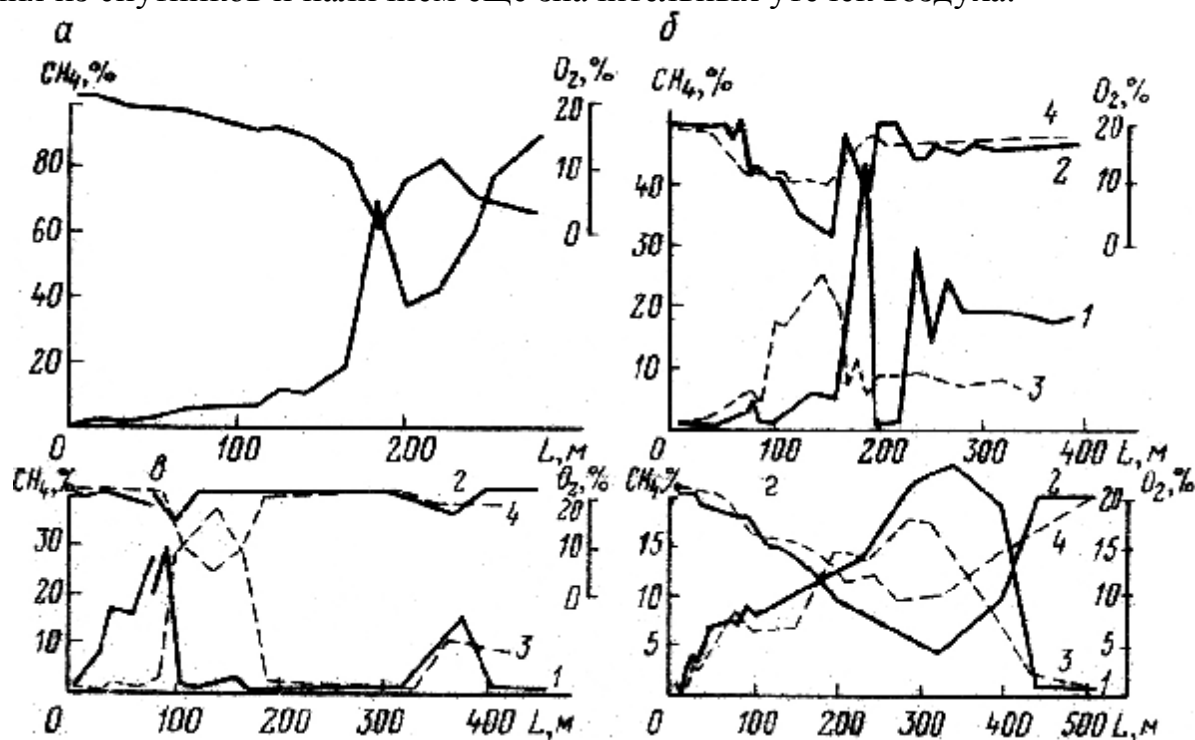


Рис. 4.9. Распределение концентраций метана (1, 3) и кислорода (2, 4) в выработанных пространствах лав, проветриваемых по схемам 1-М (а, б), 2-М (в) и 3-В (г)

Наличие тесной связи между концентрациями метана и кислорода является причиной экстремального изменения последней. Анализ также показывает качественную однородность их результатов во всех опытах, что свидетельствует об общей закономерности изменения концентрации газов в выработанных пространствах при различных схемах проветривания выемочных участков, т.е. схема не оказывает существенного влияния на качественную картину распределения концентрации газов. Поэтому применение той или иной схемы существенно не изменит пожароопасность выработанных пространств.

Широкий опыт применения бесцеликовой отработки пластов с самовозгорающимися углями, в том числе с использованием схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей и выдачей исходящей струи на вырабо-

танное пространство, также подтвердил ее высокую эффективность. При этом уменьшалась опасность возникновения эндогенных пожаров и других нежелательных явлений и в первую очередь за счет более высокой скорости подвигания очистных забоев, которые позволяет иметь эта схема на газовых шахтах.

На основании подученных данных установлено, что применение бесцеликовой выемки с поддержанием выработок позади очистного забоя на границе с обрушенными породами выработанного пространства, т. е. схем с обособленным разбавлением вредностей наиболее целесообразно при отсутствии разрывных нарушений в пределах выемочного поля и скорости подвигания очистного забоя 60 м/мес. и более.

Таким образом, на пластах с углями, склонными к самовозгоранию, наиболее рациональной является схема проветривания, которая позволяет иметь скорость подвигания очистного забоя более 50–60 м/мес., т.е. не ограничивает ее газовым фактором и обеспечивает естественно более высокую объективную безопасность ведения горных работ. Последнее приобретает особенно важное значение при отработке пластов, одновременно являющихся самовозгорающимися и выбросоопасными и с большим метановыделением на выемочных участках.

#### **4.6.3. Требования к схемам проветривания выемочных участков**

С целью обеспечения объективной безопасности работ, снятия ограничений роста нагрузки на лаву, создания нормальных санитарно-гигиенических условий труда и минимальных затрат на вентиляцию схемы проветривания выемочных участков на газовых шахтах должны отвечать следующим основным требованиям:

- исключать возможность образования слоевых и местных скоплений метана повышенных концентраций на вентиляционной выработке и на сопряжении ее с лавой;

- не допускать поступления в лаву продуктов аварии (пожара и др.), происшедшей на выемочной откаточной или наклонной конвейерных выработках;

- обеспечить надежное проветривание, как при нормальных, так и аварийных режимах, благоприятные условия для спасения людей и ликвидации аварий, возможность маневрирования вентиляционными струями;

- очистные выработки, как правило, не должны располагаться на диагоналях и в крайнем случае опрокидывание воздушного потока в них должно быть исключено;

- использовать свежую струю воздуха в очистной выработке только для разбавления вредностей, выделяющихся в призабойном пространстве, например, метана только из груди забоя и отбитого угля в этом пространстве;

- на глубоких шахтах (где необходимо регулирование тепловых условий) свежую струю воздуха в лаву подавать по выемочной выработке, которая уже осушена (например, повторно-используемый бывший откаточный штрек) и не используется для транспортировки угля;

- к каждой лаве свежую струю воздуха подавать не менее, чем по двум примыкающим к ее концам горным выработкам;

- создавать возможность ведения работ по эффективной дегазации, как разрабатываемых, так и сближенных пластов;

- выемочные участки на пластах со сложными горно-геологическими условиями (пласты выбросоопасные или самовозгорающиеся, или опасные по пыли, или с газовыделением более  $4 \text{ м}^3/\text{мин}$  метана) должны быть с независимым, выработанным пространством, т.е. отрабатываться одиночными лавами. Проветривание выемочных участков с зависимым выработанным пространством может быть допущено только при газовыделении более  $4 \text{ м}^3/\text{мин}$  на одну лаву, небольших (до 400 т/сут) нагрузках на очистной забой и применении схемы с обособленным разбавлением вредностей по источникам поступления с выдачей исходящей на выработанное пространство.

Дополнительные требования к схемам проветривания выемочных участков на выбросоопасных пластах:

- исключать последовательное проветривание очистных, подготовительных и нарезных выработок. Оно должно быть обособленным с выводом исходящей струи непосредственно в исходящую вентиляционного участка (панели, блока);

- обеспечивать возможность увеличения расхода воздуха на участке при выбросе в 1,5-3 раза;

- сокращать объем проведения подготовительных выработок и, переходить к повторному использованию их и к столбовой системе разработки;

- не допускать загазирования смежных забоев при выбросе угля (породы) и газа в одном из них.

При разработке выбросоопасных пластов исключительно важным становится выполнение изложенных выше общих требований и особенно требования о необходимости подвода к каждой лаве свежего воздуха не менее чем по двум примыкающим к ее концам парным выработкам, т.е. СПОРВ с выдачей, исходящей на выработанное пространство и отработке одиночными лавами.

#### **4.7. Аэрогазодинамика выемочных участков при схемах их проветривания с обособленным разбавлением вредностей**

##### **4.7.1. Влияние дополнительных воздухопроводов на аэрогазодинамику воздушных потоков выемочного участка**

Наличие дополнительных воздухопроводов в схемах с обособленным разбавлением вредностей и выдачей исходящей на выработанное пространство вносит существенные изменения по сравнению со СППРВ в аэрогазодинамику воздушных потоков выемочного участка. Эти изменения заключаются в следующем.

Более высокая турбулизация воздушного потока в вентиляционной выработке. Она достигается за счет существенного увеличения (в 1,5-3 и более) расхода воздуха в таких выработках и, как правило, значительно меньших разме-

ров их поперечного сечения. Вследствие этого резко возрастает скорость воздуха в рассматриваемых выработках. Высокая турбулизация потока особенно важна на участке вентиляционной выработки длиной до 80-120 м, примыкающем непосредственно к лаве, где происходит наиболее интенсивный вынос метана с утечками воздуха из выработанного пространства (рис. 4.10, 4.11).

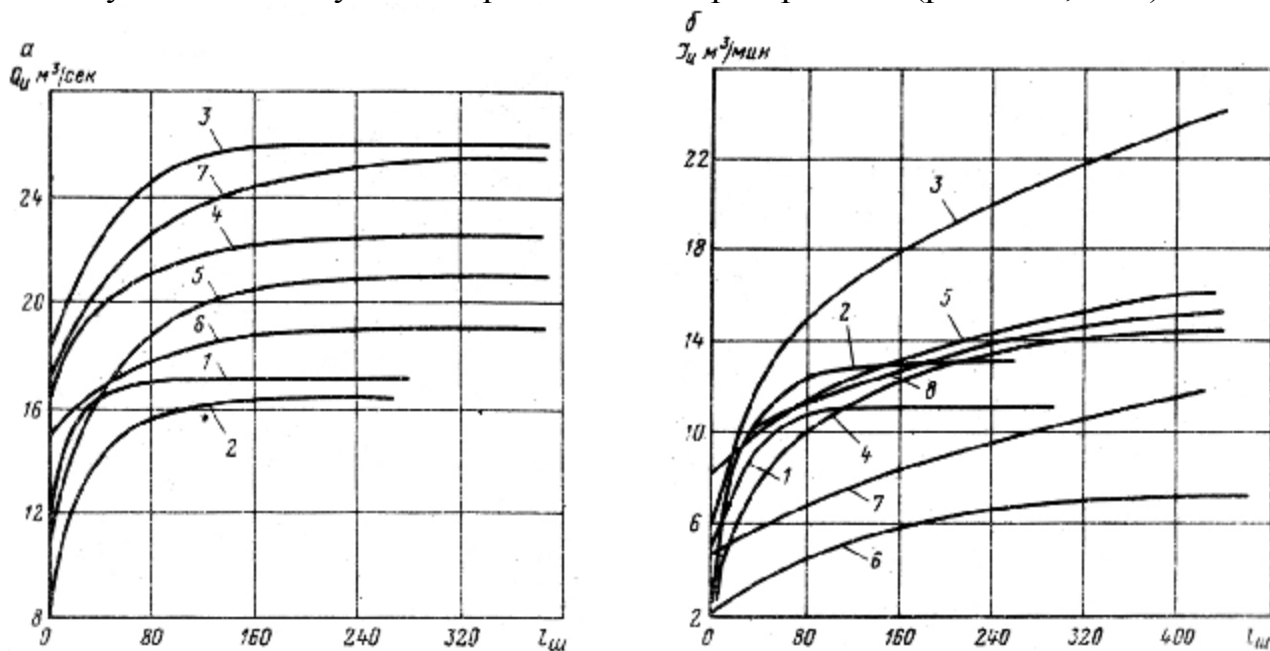


Рис. 4.10. Изменение расхода воздуха (а) и дебита метана (б) по длине вентиляционной выработки.

С увеличением плотности изолятора (охранного сооружения вентиляционной выработки: бутовая полоса, костры, буто-костры, стенка из железобетонных плит и т.д.) растет протяженность участка выработки с исходящей струей, куда поступают утечки воздуха и метан. Если при охране выработок кострами и буто-кострами при прочих равных условиях основное (90% или  $0,9 Q_{ут}$ ) количество воздуха просачивается на длине  $l_0 = 80 \dots 100$  м, то при охране бутовой полосой шириной 4 м и чураковой стенкой - уже на длине 170 м (рис.4.11, а кривая 7).

Максимальная протяженность  $l_{max}$  участка выработки, на котором наблюдались утечки вообще (в пределах точности замеров) составляло соответственно, 110 и 280 м. Таким образом, даже незначительное увеличение плотности изолятора при одних и тех же боковых породах (в условиях одного пласта) способствует рассредоточению утечек воздуха по длине вентиляционной выработки. В рассматриваемых условиях она возросла более чем в два раза. При этом на расстоянии первых 50 м от лавы в выработку выносятся от 50 до 90% всего воздуха, просачивающегося через выработанное пространство.

Близка к рассмотренной и картина выноса метана в вентиляционную выработку, только протяженность участков  $L_Q$  и  $l_{max}$  на которых выносятся метан из выработанного пространства, почти в два раза больше, чем длина участков с поступлением утечек воздуха (см. табл. 4.1). Некоторые изменения характера

выноса метана связаны с различием эффективности дегазации спутников скважинами и расстояниями между последними и др.

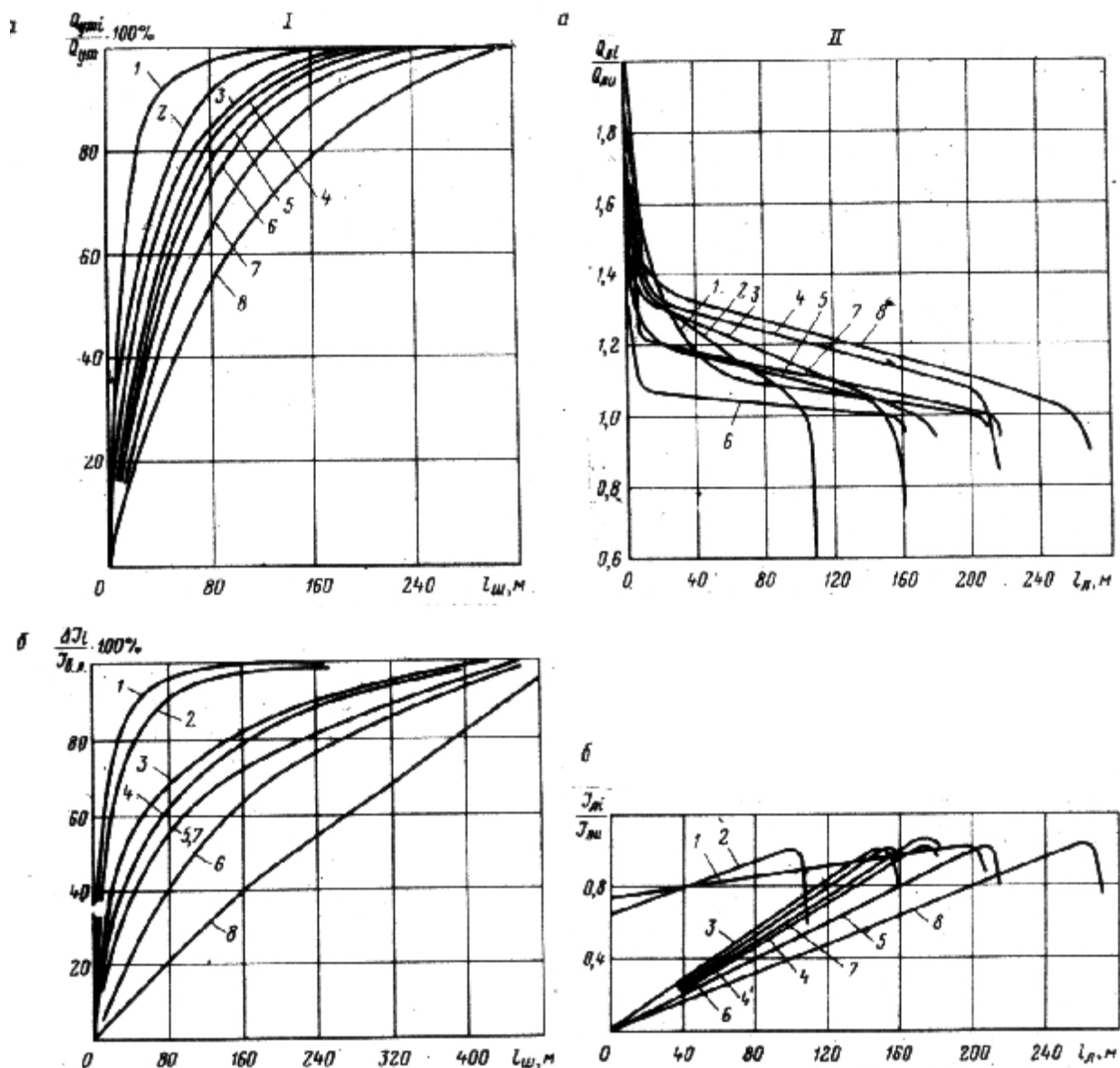


Рис.4.11. Относительное изменение расхода воздуха (а) и дебита метана (б) по длине вентиляционной и очистной выработок.

#### 4.7.2. Влияние удельных утечек воздуха и дебита метана по длине выработки на аэрогазодинамику выемочных участков

Рассмотренные закономерности почти сохраняются и при изменении удельных утечек воздуха  $q_{\text{ут}}$  и удельного дебита метана  $J_{\text{ур}}$ , просачивающегося через  $1 \text{ м}^2$  и изолятора по длине выработки (рис. 4.12). Отклонения характера некоторых кривых связано с влиянием дополнительных факторов: величины абсолютного газовыделения и расхода воздуха, аэродинамического сопротивления вентиляционной выработки и изолятора и др. При неплотных изоляторах (удельное сопротивление  $r_{\text{уд.из}}$  равно или меньше удельного сопротивления вы-

работанного пространства  $r_{уд.выр.}$  – костры, буто-костры, бутовые полосы небольших размеров с окнами и др.) значения  $q_{ут}$  и  $J_{ут}$  на расстоянии первых 20-30 м от лавы в несколько раз выше, чем при плотных ( $r_{уд.из} > r_{уд.выр}$  – бутовая полоса без окон, бутовая полоса с чураковой стенкой и др.).

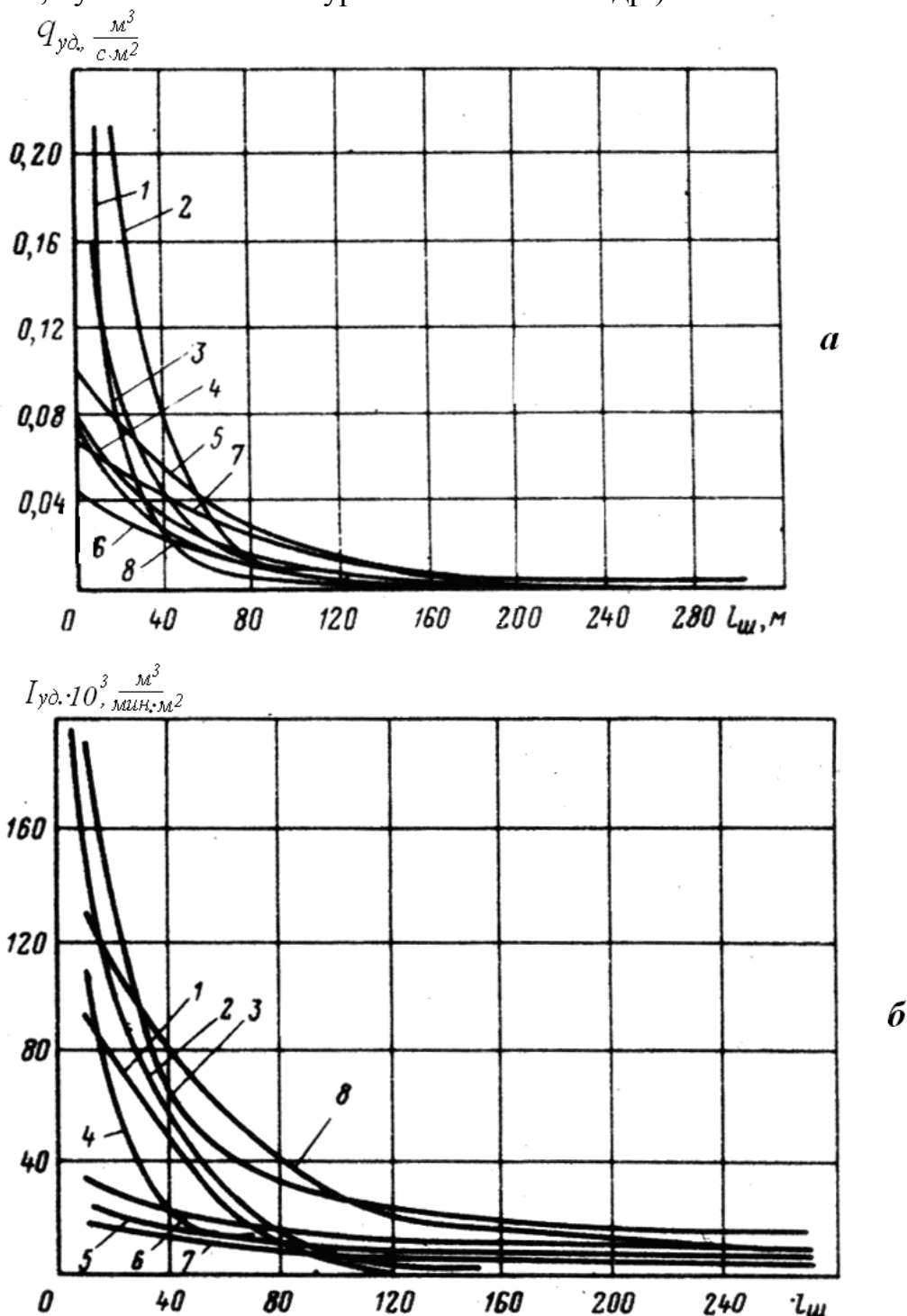


Рис. 4.12. Изменение удельных дебитов утечек воздуха (а) и метана (б) по длине вентиляционной выработки.

Взаимодействие основного (поступающего в лаву) и дополнительного (минующего лаву) воздушных потоков на сопряжении очистной и вентиляционной в дальнейшем – дополнительной выработок. Дополнительный поток, двигаясь по каналу с почти воздухонепроницаемыми стенками, по достижении

очистной выработки и местного сопротивления (в виде перегрузочного пункта с лавного конвейера на штрековый и загромождения материалами У оборудованием и др.), расширяется и смешивается со струей с движущейся по лаве. Возможные направления движения потоков воздуха наглядно можно проследить на упрощенной схеме вентиляционных соединений (рис. 4.13). Последняя осложнена тремя обобщенными Диагоналями: ветвь 5-2- утечки воздуха из рабочего в выработанное пространство в верхней части лавы; ветвь 8-6 тоже в нижней части и ветвь 11-8 часть дополнительного потока, расширяющегося при достижении им лавы (утечки воздуха в средней части лавы, ветвь 7-4 не рассматриваем, так как опрокидывание их практически маловероятно).

Опрокидывание струй в первой диагонали может произойти при более сильном уплотнении пород выработанного пространства в средней части лавы, чем в верхней. Во второй диагонали воздушный поток опрокидывается при повышении аэродинамического сопротивления изолятора, т.е. ветви 6-12.

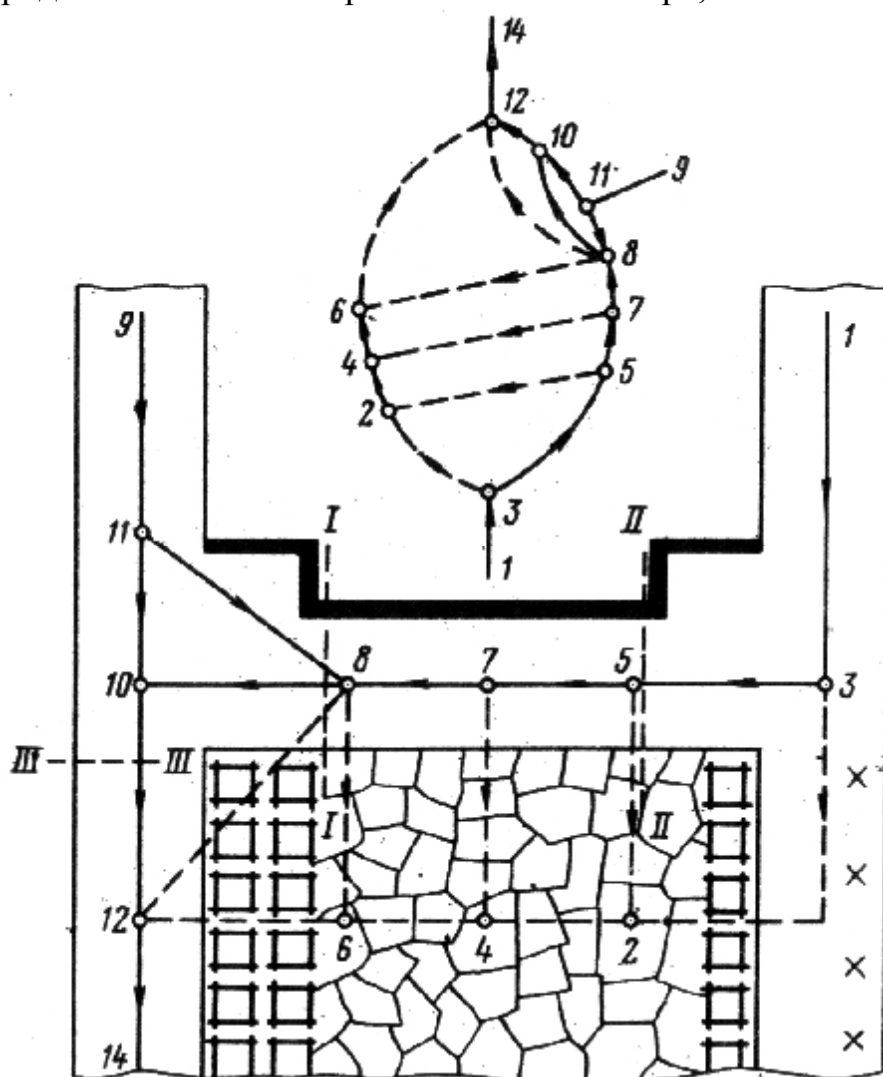


Рис. 4.13. Принципиальная схема движения воздушных потоков в пределах выемочного участка

Направление движения воздуха в ветви 11-8 определяется рядом факторов, основные из которых: аэродинамическое сопротивление дополнительной



выработки на участке, расположенном напротив выхода из лавы, т.е. ветви 11-10 и частично ветви 10-12; соотношения поперечных сечений очистной и дополнительной выработок, а также скоростей движения воздуха в них; воздухопроницаемость, в дальнейшем плотность изолятора (ветвь 6-12) и др.

В общих утечках воздуха  $Q_{ут}$  через выработанное пространство выделяются три основных составляющих, представленных ветвями: 3-2 первая; 5-2, 8-6 и 7-4 - вторая и 8-12 - третья, т.е.

$$Q_{ут.} = Q_{вх.н} + Q_{ут.п} + Q_{вх.к},$$

где  $Q_{вх.н}$  - расход воздуха, входящего в выработанное пространство на сопряжении лавы с основной воздухоподающей выработкой;

$Q_{ут.п}$  - расход воздуха, входящего в выработанное пространство на основной длине лавы (т.е. без участков входа и выхода);

$Q_{вх.к}$  - расход воздуха, просачивающегося через изолятор на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой.

Значения этих составляющих общих утечек зависят в основном от аэродинамического сопротивления обрушенных пород в выработанном пространстве и плотности изолятора. При неплотных изоляторах (см. табл.4.1) утечки воздуха составляют: на первом или начальном участке 25-30%, на втором, т.е. по длине лавы, 12-23% и третьем конечном - 11-20% от расхода воздуха в основном потоке  $Q_6$ .

При увеличении плотности изоляторов (кривые 5,6 и 7 на рис 4.12, а) они были значительно ниже: соответственно 17-23%; 3-8% и 3-6%. В первой группе участков (с неплотными изоляторами) максимальное значение удельных утечек воздуха достигает 0,3 м/с.м, во второй - в 5-6 раз меньше.

Воздух, уходящий из рабочего в выработанное пространство на конечном (третьем) участке, уносил от 5 до 40% метана выделяющегося из разрабатываемого пласта и отбитого угля (рис. 4.11, II-б). На величину этого уноса кроме плотности существенное влияние оказывает также расход воздуха в дополнительном потоке. С ростом последнего увеличивается утечки воздуха и количество уносимого с ними метана.

Благодаря интенсивному перемешиванию основного и дополнительного воздушных потоков на конечном участке лавы (протяженностью определяемой в основном шириной изолятора) происходит снижение концентрации метана в наиболее опасном с точки зрения образования местных скоплений газа месте. Исследованиями и большим практическим опытом установлено, что поступление утечек воздуха и вынос метана - из выработанного в рабочее пространство исключается при применении неплотных изоляторов, включая бутовые полосы шириной менее 5 м. Во многих случаях это условие на практике соблюдалось при применении бутовых полос шириной 7-8 м и более. Определяющим является плотность выкладки бутовой полосы. Поскольку данный вопрос исследован еще недостаточно, рекомендуется при расчетах принимать значение коэффициента, учитывающего метановыделение из выработанного пространства, в призабойное  $K_{вл}=0$  при ширине бутовой полосы до 5 м. Так, например, при отработке лавы, для охраны вентиляционного ходка выкладывалась бутовая полоса шириной 4 м и чураковая стенка на глине. Значение  $K_{вл} -0,05$ . При остав-

лении окон в стенке и выкладка ее без глины исключили полностью вынос метана в призабойное пространство вплоть до конца отработки лавы ( $K_{вп} = 0$ ).

Более интенсивное проветривание выработанного пространства, особенно примыкающего к вентиляционной выработке. Это происходит в основном за счет двух основных факторов: повышения перепада давления через выработанное пространство и низкого аэродинамического сопротивления изолятора.

Изменение первого фактора связано с ростом (часто в два, иногда в три и более раза) расхода воздуха на участке и высоким удельным аэродинамическим сопротивлением вентиляционной выработки на участке протяженностью 100-200 м непосредственно за лавой. Остальная часть выработки после перекрепления и ведущегося с указанным отставанием имеет расчетное или близкое к нему аэродинамическое сопротивление. Практически на всех выемочных участках шахт Донбасса, проветриваемых по СПОРВ и выдачей исходящей струи на выработанное пространство применяются такие способы охраны вентиляционных выработок, которые можно отнести к неплотным изоляторам, т.е. исключая поступление утечек воздуха и, следовательно, метана из выработанного в рабочее пространство. Данные изоляторы практически не оказывают (или очень мало оказывают) влияние на величину утечек воздуха. При возвратно-точной схеме проветривания (СППРВ) и сплошной системе разработки, когда вентиляционный штрек проходится вслед за лавой, как правило, большим сечением, имеет на рассматриваемом участке проектные размеры и расчетное аэродинамическое сопротивление и, следовательно, очень малые потери депрессии. Кроме того, выкладываемая для охраны бутовая полоса имеет большую ширину (до 30...40 м). Отсюда и утечки воздуха через выработанное пространство значительно меньше, хотя по величине коэффициента утечек воздуха  $K_{ут.в.}$  эта разница не столь уж существенна (табл. 4.4). По абсолютной же величине расход воздуха через выработанное пространство в СПОРВ выше во столько раз по сравнению со СППРВ, во сколько больше расход его по участку.

Таблица 4.4.

Значения коэффициента  $K_{ут.в.}$  при поддержании выработок, примыкающих к выработанному пространству

Схема проветривания выемочного участка		Значение $K_{ут}$ в зависимости от способа управления кровли и от пород							
Тип, под-тип, класс	Характерные варианты (см. рис. 4.6)	Полное обрушение			Частичная закладка			Плавное опускание	
		Глинистые сланцы	Песчаные сланцы	Песчаники	Глинистые сланцы	Песчаные сланцы	Песчаники	Глинистые сланцы	Известняки
1-В-Н (3)	в-вт, г-вт	1,40	1,55	1,70	1,20	1,25	1,40	1,30	1,70
	в-пт, г-пт	1,30	1,40	1,55	1,20	1,25	1,35	1,20	1,60
1-М-Н (3)	в-вт, г-пт	1,25	1,30	1,40	1,10	1,15	1,25	1,20	1,30
3В-Н (3)	н-пт, г-вт	1,55	1,70	1,80	1,20	1,25	1,40	1,65	1,85

В табл. 4.4 приведены значения коэффициента  $K_{ут.в}$  при поддержании выработок, примыкающих к выработанному пространству, бутовыми полосами шириной 4-6 м. При поддержании выработок другими способами вместо  $K_{ут.в}$  принимается коэффициент  $K_{ут.в}$  определяемый по формуле

$$K_{ут.в} = 1 + (K_{ут.в} - 1) K_{ут.п},$$

где  $K_{ут.п}$  - поправочный коэффициент, зависящий от способа поддержания выработки (типа изолятора); при поддержании выработок кострами он равен 1,45, буто-кострами и бутовыми полюсами шириной менее 4м-1,10; бутовыми полосами шириной до 12 м - 1,05; бутовыми полосами шириной 7-10 м - 0,9 м; 11-15 м-0,8 и 16-20-07.

#### **4.7.3. Обоснование перехода к повышенной допустимой норме содержания метана в исходящей струе участка**

В последнее время неоднократно возникает дискуссия по вопросу увеличения допустимой нормы содержания метана, в исходящих струях выемочных участков. Выполненные исследования показали, что в связи с монотонностью роста концентрации метана по длине вентиляционной выработки, возможностью создания надежных условий, исключающих образование местных скоплений на ней путем изменения размеров бутовой полосы и скорости движения воздуха, концентрация метана только в исходящей струе участка, проветриваемого по схеме с обособленным разбавлением вредностей и выдачей исходящей на выработанное пространство до 1,5%, будет не более опасна при нормальных режимах, чем 1% во всех других схемах. Повышение допустимой нормы в последних недопустимо из-за существенного снижения безопасности работ.

В СПОРВ и выдачей исходящей струи на выработанное пространство вообще-то отсутствует какая-либо объективная потребность в увеличении норм концентрации метана при существующих и планируемых на ближайшую перспективу нагрузках на забой. Повышение же нормы содержания метана на действующих шахтах возможно только в исключительных случаях, к которым следует отнести интенсивную отработку лав с высоким газовыделением из выработанного пространства при недостаточных резервах воздуха и когда использованы все известные способы с газом, включая схемы с обособленным разбавлением вредностей.

В качестве необходимых условий перехода к повышенной допустимой (до 1,5%) норме содержания метана в исходящей струе участка следует отнести:

- обособленность и устойчивость проветривания его выработок;
- обеспечение средней скорости движения воздуха в призабойном пространстве очистной выработки не менее 3,5 м/с, в выработке с исходящей струей – 2,0 м/с;
- установка автоматизированных шлюзовых устройств, обеспечивающих стабильную подачу воздуха на участке, а в случае их аварийного открывания - отключение электроэнергии на участке;

- применение способа охраны вентиляционной выработки, обеспечивающего исключение выноса метана из выработанного в рабочее пространство лавы.

Кроме того, должны быть повышены требования к контролю за концентрацией метана на участке, расходом воздуха и к лицам, его осуществляющим, а также обеспечено требуемое ПБ 60%-ное поступление воздуха на выемочный участок в реверсивном режиме. Для этого регулятор, устанавливаемый на дополнительной струе, в реверсивном режиме должен автоматически переходить на работу в качестве шлюза.

#### **4.7.4. Влияние схем проветривания на аэрогазодинамику выемочного участка**

Если в схемах проветривания с выдачей исходящей струи на выработанное пространство дополнительный поток воздуха препятствует поступлению метана из него в призабойное, то в схемах с выдачей ее на массив угля, наоборот, способствует этому, что снижает безопасность работ. Поэтому такие схемы (типа 2-М) допускаются к применению, как исключение при выполнении соответствующих мероприятий. Однако на шахтах Донбасса их удельный вес в общем объеме применения СПОРВ достигает 3%. Это обстоятельство можно объяснить следующими факторами:

- широким распространением разработки пологих пластов лавами по восстанию. На газовых шахтах в связи с необходимостью обеспечения восходящего движения исходящей из лавы струи (требования ПБ) последняя может выдаваться только в направлении массива угля;

- сложившейся планировкой горных работ на действующих шахтах и срочностью ввода лавы в эксплуатацию, ограниченными возможностями вентиляции, особенно по депрессии и др.

Для объяснения механизма движения газа в выработанном пространстве при таких схемах проветривания рассмотрены силы, действующие на элементарный объем газозвушной смеси, находящийся в непосредственной близости от очистного забоя (рис. 4.14, а):

$F_d$  - сила, по величине равная депрессии лавы и совпадающая с направлением движения воздуха по очистному забою. Она способствует выносу газа непосредственно в выработку с дополнительной струей воздуха;

$F_g$  - сила, равная по величине депрессии выработки с дополнительной струей воздуха на участке длиной  $l$  и направленной в сторону очистного забоя. Она способствует поступлению метана в лаву;

$F_y$  - сила, создаваемая за счет разности удельных весов метана и воздуха (гравитационный напор) и направленная всегда по восстанию пласта

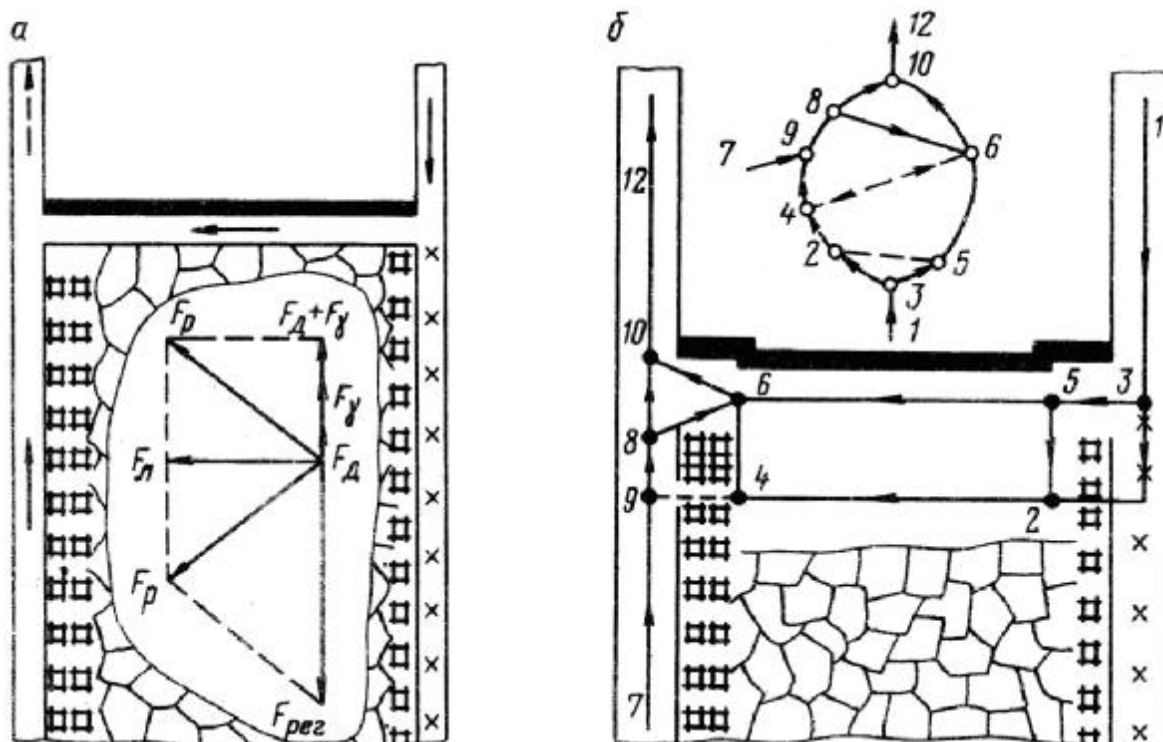


Рис. 4.14. Схема действия основных сил (а), влияющих на направление движения газовой смеси в выработанном пространстве (б).

Для лав, обрабатываемых по восстанию пласта, результирующая сила  $F_p$  всегда направлена в сторону очистной выработки» так как силы  $F_g$  и  $F_y$  совпадают по направлению, способствуя выносу газа в призабойное пространство. Следовательно, чем больше потеря депрессии в дополнительной выработке и гравитационный напор метана в выработанном пространстве, тем при прочих равных условиях интенсивнее вынос его в лаву. Для лав, обрабатываемых по падению пласта, направление движения газовой смеси зависит от разности указанных сил. Причем увеличение гравитационного напора метана уменьшает вынос его в очистную выработку.

При обработке пласта лавами по простиранию гравитационный напор совпадает по направлению с потерей депрессии в очистном забое при восходящем движении воздуха по очистной выработке и направлен в противоположную сторону - при нисходящем. Поэтому, в первом случае вероятность выноса метана в лаву меньше, чем во втором.

Схема вентиляционных соединений участка представляет сложное диагональное соединение (рис. 4.14, б). На диагоналях находятся газоздушные потоки между призабойным и выработанным пространством и поток в ветви 8-6, образующийся при расширении дополнительной струи свежего воздуха. Наиболее ответственной является диагональ 4-6. Направление движения газовой смеси в ней практически определяет эффективность и надежность схемы проветривания. Чтобы обеспечить устойчивое направление движения потока в этой диагонали от точки 6 и 4, т.е. исключить вынос газа в лаву, необходимо иметь минимальные аэродинамические сопротивления изолятора (неплотный) и дополнительной выработки и максимально возможное выхода из лавы.

Из условия равенства нулю депрессии в контуре 4-9-8-10-6-4 и рассмотрения действия сил  $F_g$  и  $F_l$  способствовать выполнению этого требования будет также повышение расхода воздуха в очистной выработке и снижение в дополнительной.

Таким образом, управлять выносом газа из выработанного в призабойное пространство при выдаче исходящей струи на массив угля можно путем изменения:

- направления движения лавы по отношению к плоскости пласта;
- аэродинамического сопротивления выработок участка и его элементов (вентиляционной выработки, изолятора, выхода из лавы и др.);
- соотношения расходов воздуха в основном и дополнительном потоках.

Отработка лав с применением таких схем и без применения мероприятий по управлению доказывает, что в большинстве случаев происходит вынос газа в рабочее пространство. Значение  $K_{в.п.}$  достигало при неплотных изоляторах до 0,4 при плотных - до 0,87. Поэтому в соответствии с 'Руководством по проектированию вентиляции угольных шахт такие схемы допускается применять только в тех случаях, когда невозможно использовать варианты схем 3-го типа, т.е. с выдачей исходящей, на выработанное пространство. При этом в проектах отработки дав должны предусматриваться, по согласованию с ДонУГИ, специальные меры по управлению газовыделением.

Большой опыт отработки лав по схемам типа 2-М с выдачей исходящей на массив угля и применением комплекса таких мероприятий в течение последних десяти лет показывает, что не только можно исключить образование повышенных концентраций метана, но и вообще исключить вынос его из выработанного в призабойное, т.е. обеспечить  $K_{в.п.} = 0$ . Такой комплекс мероприятий применяется на одной из самых крупных в Донбассе шахте им. А.Г. Стаханова. Использование в проекте этой шахты таких схем проветривания в свое время позволило сократить число лав в два раза, не снижая ее производственной мощности, и существенно снизить капитальные затраты. Использование комплекса мероприятий дало возможность работать без нарушений газоздушного режима на выемочных участках при высоких (до 1500-2000 т/сут в отдельные периоды) нагрузках на очистной забой. Однако это требует более тщательного контроля и повышенного внимания со стороны технического надзора. Кроме того, область применения таких схем значительно ограничивается по величине газовыделения из выработанного пространства.

#### **4.8. Эффективность схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей**

##### **4.8.1. Показатели безопасности схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей**

К настоящему времени по СПОРВ только на шахтах Украины отработано свыше 1300 участков. Наибольший удельный вес их приходится на шахты Донецко-Макеевского и Шахтерского районов, разрабатывающие пласты с наибо-

лее сложными горно-геологическими условиями (высокая газообильность, опасность по внезапным выбросам угля и газа, большая глубина работ, и. т.д.).

СПОРВ применяют в самых разных горно-геологических условиях: мощность пласта - от 0,65 до 2,2 м; боковые породы - от устойчивых до неустойчивых. При этом более половины лав отработано на пластах с неустойчивыми породами. Газообильность выемочных участков достигала 46 м/мин. Свыше, половины участков отработано и работает на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, несколько участков - на пластах опасных по самовозгоранию угля. Свыше одной трети лав отработано на глубине от 800 до 1100 м. Внедрены или испытаны все основные варианты схем.

Переход на СПОРВ позволил на всех участках резко повысить безопасность ведения горных работ, улучшить санитарно-гигиенические условия труда рабочих очистных забоев и повысить технико-экономические показатели работы участков.

Повышение безопасности при нормальных и аварийных режимах проветривания достигнуто за счет:

- снижения содержания метана в исходящих струях выемочных участков в 1,1-2,9 раза, так как увеличилась пропускная способность выемочных участков по воздуху в несколько раз, подача его в необходимом количестве и рациональное распределение по выработкам участка;

- ликвидации скоплений метана в повышенных концентрациях на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой и в последней на всех участках, где применялись варианты схем с выдачей исходящей струи на выработанное пространство и неплотный изолятор (охрана выработки кострами, буто-кострами, из бетонных блоков, бутовыми полосами шириной до 5 м, иногда 6-7 м и т.д.). Воздух, переходящий из рабочего в выработанное пространство, в конце лавы перед изолятором уносил от 5 до 35% (в зависимости от величины местного аэродинамического сопротивления выработки у выхода из лавы и плотности изолятора) метана, выделяющегося в призабойном пространстве и значительное количество пыли. Концентрация газа на выходе из лавы, поэтому была почти всегда ниже, чем на пример, в 15-25 м от ее конца. В результате создавался, резерв увеличения нагрузки на лаву по газовому фактору. При этом полностью исключался вынос метана из выработанного в рабочее пространство ( $K_{в.п.}=0$ ) и, следовательно, образование местных скоплений метана;

- обособленного проветривания конвейерных выработок. При пожаре на выемочном конвейерном штреке (уклоне или бремсберге при обособленном их проветривании) продукты горения, минуя рабочее пространство лавы, направляются непосредственно в исходящую струю воздуха. Люди, находящиеся на участке, могут кратчайшим путем через лаву по свежей струе выйти в безопасную зону;

- наличия двух выработок со свежими струями, непосредственно примыкающими к выходам из лавы;

- сокращения числа тупиковых подготовительных выработок почти в 2 раза и, следовательно, вероятности появления аварий, в том числе выбросов;

- возможности сохранения допустимых концентраций метана на исходящей участка при экстренных, его поступлениях (например, при посадках основной кровли и т.д.) в выработки, а также более быстрого разгазирования их при внезапных выбросах угля и газа путем увеличения расхода воздуха.

Более высокая степень надежности и безопасности СПОРВ и с выдачей исходящей на выработанное пространство подтверждается и анализом аварий, связанных с воспламенением метана. Из всех аварий, которые произошли на выемочных участках с такими схемами проветривания, ни одна из них не вызвана особенностями схемы и последние не способствовали созданию аварийной ситуации. В 80% случаев воспламенения газа произошли в очистных выработках от искр, образовавшихся при работе выемочной машины. В некоторых случаях этому могло способствовать уменьшение расхода воздуха в лаве и на участке в целом из-за нарушения вентиляции (остановка вентилятора главного проветривания, открывания дверей шлюза и закорачивания струи, необеспеченность выемочного участка воздухом и др.). В двух случаях вспышки метана произошли в выработанном пространстве лав при наличии эндогенного пожара на одном участке и взрывных работ на другом. В третьем - взрыв в очистной выработке при нарушении проветривания и неисправности кабеля.

В некоторых из рассмотренных случаев тяжесть последствий была бы во много раз выше, если бы участки проветривались при столбовой системе разработки по обычной возвратноточной схеме проветривания. Так, имевший место на шахте "Комсомолец Донбасса" взрыв газа произошел в очистной выработке из-за нарушения изоляции кабеля. Опасная концентрация метана образовалась вследствие нарушения проветривания при резком увеличении аэродинамического сопротивления регулятора расхода воздуха (закрытые двери) в выработке, по которой поступает свежая струя в лаву, и закорачивания свежей струи между основными горизонтами за пределами аварийного участка при оставлении открытыми одних дверей шлюза и неудовлетворительном состоянии других.

В течение примерно 30 мин в очистной выработке вдоль забоя образовалось слоевое скопление метана небольших размеров и загазирование верхней ниши. Поэтому взрыв был небольшой силы, в основном в нише, не причинивший практически разрушений.

В случае же применения возвратноточной схемы проветривания к образовавшемуся местному скоплению добавился бы метан из выработанного пространства, особенно в верхней части лавы. Поскольку из выработанного пространства выделялось более  $6 \text{ м}^3/\text{мин}$  газа, то при поступлении по лаве  $100\text{-}110 \text{ м}^3/\text{мин}$  воздуха за указанный выше период нарушения вентиляций было бы загазировано до взрывоопасной концентрации рабочее пространство лавы и вся выработка с исходящей струей воздуха. Взрыв привел бы к очень тяжелым последствиям и большим разрушениям.

Анализ воспламенений газа на участках с обычными схемами показал, что если бы при столбовой системе разработки вместо обычной возвратноточной применялась СПОРВ, то в трех случаях аварии были бы исключены полностью. На 12 участках замена таких схем (двух при столбовой системе разработ-



ки и 10 при сплошной) на СПОРВ резко снизила бы вероятность возникновения аварии. В остальных случаях конструкция схемы не оказывала влияния ни на возникновение аварии, ни на ее последствия.

#### **4.8.2. Санитарно-гигиенические показатели схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей**

Санитарно-гигиенические условия труда на добычных участках улучшались за счет снижения:

- скорости воздуха в лавах в 1,1-3,8 раза. Появилась возможность подавать по рабочему пространству лавы только такое количество воздуха, которое необходимо для разбавления вредностей, выделяющихся только в этом пространстве;

- запыленности рудничного воздуха в рабочем пространстве лавы в 1,4-15 раз (в среднем в 6 раз) в результате уменьшения как абсолютной, так и относительной (при движении транспортируемого угля и потока воздуха в одном направлении, например, при нисходящем движении вентиляционной струи) скоростей движения воздуха в достижении во многих случаях значений их, близких к оптимальной по пылевому фактору. При этом общий расход воздуха в целом на каждом участке, как правило, даже возрос в 1,5-3 раза. Исключены так же источники интенсивного пылевыделения, такие как конвейерный транспорт и др. из выработок, по которым подается воздух непосредственно в очистные выработки. Уменьшилось число рабочих, находящихся в атмосфере с высокой запыленностью. Снизилось в 2-3 раза поступление пыли в выработки с исходящей струей вследствие увеличения количества воздуха, просачивающегося через выработанное пространство, особенно в нижней части лавы и осаждения ее в нем. Так, на шахте им. Бажанова запыленность в рабочем пространстве на выходе из лавы шестой панели достигала 20 тыс. мг/м<sup>3</sup>. Применение специально разработанного комплекса мер по борьбе с пылью не дало положительных результатов вследствие интенсивного взметывания оседающей пыли. Снижение скорости воздуха в лаве до 2,5-3 м/с при переходе на СПОРВ позволило уменьшить запыленность более чем в 15 раз, а применение дополнительных мер по борьбе с ней - еще в 2-3 раза;

- температуры рудничного воздуха на 1-6°, в отдельных случаях даже на 8°. Наиболее высокие результаты, достигнуты на участках, обрабатываемых лавами по простиранию, в которых свежая струя в очистную выработку подавалась по верхнему, используемому штреку; конвейерный транспорт и все местные источники тепла (приводы, маслостанции, распредпункты и др.) располагались на нижнем выемочном штреке, по которому подавалась дополнительная свежая струя: снижена относительная скорость воздушного потока по отношению к транспортируемому углю за счет сонаправленного их движения.

В целом ряде случаев был обеспечен нормальный тепловой режим без искусственного охлаждения воздуха.

### **4.8.3. Техничко-экономические показатели схем проветривания с обособленным разбавлением вредностей**

Повышение технико-экономических показателей на всех участках достигнуто в результате роста фактической нагрузки на очистные забои, переведенные на СПОРВ, в 1,1...3,9 раза. При этом в большинстве лав, оборудованных механизированными комплексами, на газообильных шахтах, где применена СПОРВ, получены нагрузки свыше 1000 т, а в отдельных случаях 2500...4000 т/сут. Прирост фактической максимальной месячной нагрузки достигал 450%. Эти приросты получены только за счет перехода на СПОРВ, позволивших снять ограничения нагрузки на лаву по газовому фактору, при равных прочих условиях.

По фактору вентиляции СПОРВ позволяли иметь на отработанных участках в 2...10 раз большую расчетную нагрузку, чем при обычных схемах проветривания.

Снижение расчетного газовыделения в лаве, величина которого определяет нагрузку на очистной забой, получено в основном за счет обособленного разбавления и удаления метана, выделяющегося из выработанного пространства. Удельный вес последнего в газовом балансе участка в целом ряде случаев достигал 90%, т.е. исключение из расчетной величины газовыделения одной этой составляющей уже позволяло увеличить нагрузку почти в 10 раз.

Устранение поступления газа, выделяющегося из отбитого угля за пределами очистной выработки, главным образом на выемочном конвейерном штреке, а в ряде случаев и уклоне, а также из подготовительных забоев и других источников, позволило снизить газовыделение на 10-32%.

Расчеты показывают, что в зависимости от степени обособленности разбавления вредностей и удельного веса газовыделения из выработанного пространства в газовом балансе выемочного участка СПОРВ и рассредоточенном проветривании лавы по сравнению с СППРВ позволяют увеличить нагрузку на лаву до 15 раз (рис. 4.15, а, кривая 1).

В зависимости от степени обособленности разбавления метана, выделяющегося из отбитого угля за пределами рабочего пространства лавы, и природной газоносности разрабатываемого пласта нагрузка при СПОРВ возрастает на 10-40% (рис. 4.15, б). Для большинства шахтопластов Донбасса полная обособленность разбавления метана на вентиляционном участке обеспечивает прирост нагрузки до 20% (кривая 2), в пределах шахты до 40% (кривая 1), т.е. по эффективности такое снижение газовыделения равноценно уменьшению его за счет дегазации пласта скважинами.

На практике полный прирост нагрузки на лаву по газовому фактору, который обеспечивали СПОРВ, не был достигнут (за исключением немногих случаев) по ряду организационных технических и других причин. Производительность труда рабочего по участку возросла на 3,7...109,0 т/мес или на 8,5...96%. В среднем (по 100 детально проанализированным участкам) рост производительности труда только за счет повышения нагрузки на лаву, т.е. снятия ограничений ее роста по газовому фактору, составил 28%. Себестоимость тонны уг-

ля по участку снизилась на 0,1...2,3 грн./т, или 3,4...38,4%. В среднем по всем рассматриваемым участкам себестоимость снизилась на 18,6%.

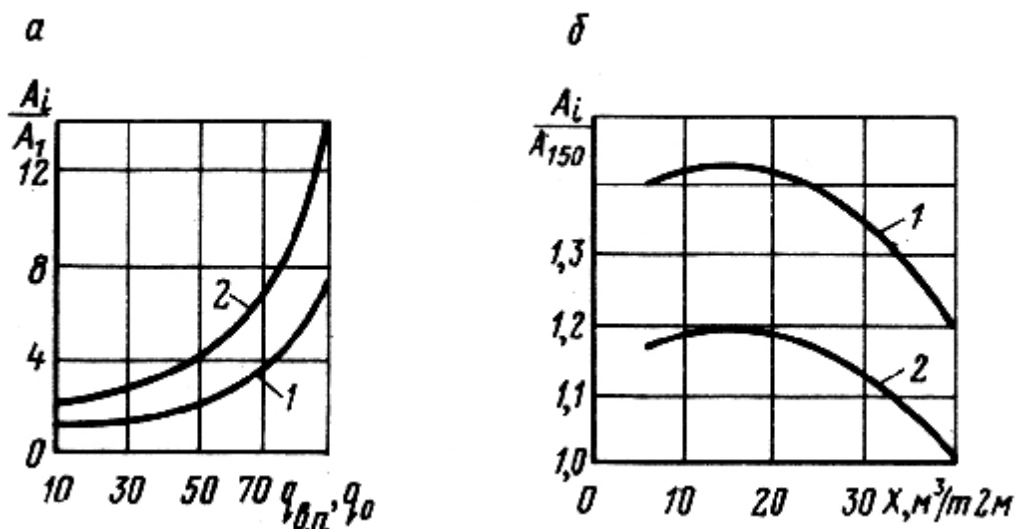


Рис.4.15. Зависимость прироста нагрузки на лаву от удельного веса газо-выделения из выработанного пространства (а) и природной газоносности пласта (б) при различных схемах проветривания

Годовая экономия от внедрения СПОРВ на шахтах Минуглепрома Украины составила 5,9...420 тыс. грн по одной лаве и в среднем - 114,5 тыс.грн. В последние годы в связи со снижением нагрузки (не по газовому фактору) на очистные забоина шахтах Донбасса и в том числе на участках со СПОРВ эффективность их естественно также уменьшилась за счет общего снижения эффективности работы Минуглепрома.

Кроме того, СПОРВ облегчают вторичное повторное использование откаточных выработок в качестве вентиляционных, так как обеспечивают хорошее транспортное обслуживание, ремонт их и проветривание. Поэтому снизились потери угля в целиках в среднем с 11 до 1%. На абсолютном большинстве участков, отработанных по таким схемам, выемочные выработки повторно использовались и, следовательно, целиков угля не оставлялось, т.е. обеспечивалась бесцеликовая выемка, подготовка и охрана данных штреков. Экономия только на каждой тонне дополнительно извлекаемых запасов из целиков угля достигла 0,2...0,3 грн. Уменьшилось обрушение пород на сопряжении очистных и подготовительных выработок.

Упростилась принципиальная технологическая схема очистных работ. Облегчен вынос приводной и натяжной головок забойного конвейера на штреки, что способствовало сокращению или полной ликвидации ниш, а также исключению комплекса работ, выполняемых в ходе их подготовки. Отпала необходимость частого сокращения длины конвейера на штреке.

Во многих случаях упростилась и схема транспортирования угля из лавы по штреку (ходку), так как отпала необходимость в проведении штреков, печей, установке и эксплуатации в них средств доставки угля и др.

Повысилась в 1,5...3 и более раза эффективность дегазации пластов-спутников скважинами по сравнению с возвратноточной схемой проветривания при столбовой системе разработки при той же величине затрат. Сохранение выработки в выработанном пространстве позволило увеличить срок действия скважин, Особенно в период наиболее интенсивной отдачи.

Недостатком СПОРВ являются дополнительные расходы на восстановление, ремонт выработок позади лавы, а для некоторых вариантов схем - проведение и поддержание дополнительных выработок, сохраняемых для выдачи исходящей струи, в выработанном пространстве.

Однако в большинстве случаев затраты не увеличивались, так как расходы на восстановление и поддержание выработок позади лавы были меньше, чем на проведение новых. В сложных горно-геологических условиях (неустойчивые боковые породы, большая глубина и т.д.) эти затраты составляли в среднем 0,12 грн/т и окупались уже при увеличении нагрузки на лаву на 7%.

При применении тех вариантов схем, где требовалось поддержание дополнительных выработок и проведение новых, затраты увеличивались в среднем на 0,19 грн/т и окупались при увеличении нагрузки на лаву на 14%. Только в особо тяжелых условиях дополнительные затраты значительно выше и для их окупаемости необходимо увеличение нагрузки на очистной забой до 30...40% и даже в отдельных случаях 50%.

Таким образом, дополнительные затраты даже в неблагоприятных условиях были незначительными и быстро окупались за счет роста нагрузки, которую обеспечивали СПОРВ. Об этом свидетельствует высокая фактическая экономическая эффективность их применения на шахтах. СПОРВ заложены более чем в 80 проектах новых шахт, реконструкции и подготовки горизонтов на действующих предприятиях, т.е. практически во всех проектах газовых шахт, выполненных в последние годы в Донбассе.

Объемно-планировочные решения, основанные на применении СПОРВ, и оптимальных параметров горных выработок создали возможность:

- получить технологические модели шахт максимально возможного уровня концентрации работ в настоящее время и в перспективе;

- сократить объемы горных работ при строительстве шахт в 1,5...2 раза против лучших проектов шахт, построенных и введенных в эксплуатацию в 1973-75 гг.;

- упростить планировку горных выработок, исключить трудоемкие в строительстве капитальные наклонные выработки с присущими им площадками, камерами и заездами, сократить за счет этого в 1,5...1,7 раза критические направления, что создало, впервые возможности для строительства крупных и глубоких шахт за 7...8 лет или в 1,5...2 раза сокращения фактических сроков строительства.;

- резко снизить трудоемкость работ во всех звеньях и довести уровень производительности труда при современной технике до 200 т в месяц, а в перспективе применения более совершенных средств комплексной механизации - до 400-450 т в месяц на одного подземного рабочего.

Переход на СПОРВ позволяет в целом ряде случаев более успешно и эффективно решать вопросы борьбы с газом по сравнению с дегазацией пластов-спутников скважинами. Так, в настоящее время в Донбассе около четверти всех выемочных участков, на которых применяется дегазация спутников, имеют общую газообильность менее  $5 \text{ м}^3/\text{мин}$  (большая часть из них даже до  $3 \text{ м}^3/\text{мин}$ ). Дегазацией удаляется по  $0,1-0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$  редко до  $1 \text{ м}^3/\text{мин}$  метана.

Следовательно, эффективность применения дегазации в таких условиях, как средства борьбы с газом, ничтожна, но затраты существенны. Даже на участках с газообильностью от  $5$  до  $10 \text{ м}^3/\text{мин}$  (основная группа) дегазацией удаляется от  $1$  до  $3 \text{ м}^3/\text{мин}$  метана. С точки зрения затрат этот газ во много раз дешевле разбавлять и удалять вентиляционной струей воздуха.

Кроме того, при увеличении расхода воздуха в выработках выемочного участка повышается безопасность и надежность за счет снижения опасности образования слоевых и местных скоплений метана, а также исключения загазования выработок, которые (скопления) бывают при отказах дегазационной системы. Только на действующих шахтах, где нет резерва воздуха или им обеспечены горные выработки вообще, может быть оправдано применение дегазации пластов-спутников на участках с небольшим газовыделением.

В последнее время значительное внимание решению вопросов борьбы с газом и неблагоприятными тепловыми условиями с помощью схем проветривания выемочных участков уделяется в Германии. Анализируя возможности характерных вариантов их, делаются аналогичные выводы о широких возможностях и эффективности СПОРВ. Расчетами подтверждается, что по тепловому фактору применение схемы 3-В-Н-н-пр позволяет по сравнению с 1-В-Н-в-вт увеличить нагрузку на лаву на  $47\%$  при прочих равных условиях и температуре боковых пород  $40^\circ\text{C}$ . Теоретическими расчетами, а затем и практикой применения на шахте схемы проветривания 2-В-3-в~н-вт подтверждено, что последняя обеспечивает по сравнению с 1-В-Н-в-вт снижение, при прочих равных условиях, эффективной температуры на  $3^\circ\text{C}$  в лаве и на  $5-6^\circ\text{C}$  на штреке с исходящей струей воздуха. Для обеспечения одинаковых климатических условий на участке со схемой 1-В-Н-в-вт пришлось бы применить холодильную машину мощностью порядка  $800 \text{ кВт}$ .

## **4.9. Порядок выбора схемы проветривания выемочного участка**

### **4.9.1. Критерии выбора схемы проветривания выемочного участка**

Схема проветривания выемочного участка (СПВУ) для каждого конкретного шахтопласта должна отвечать требованиям ПБ, других нормативных документов, а также изложенным выше и быть наиболее экономичной, т.е. обеспечивать высокие технико-экономические показатели. Последнее требование может быть выполнено путем сравнения основных возможных вариантов схем, пригодных для рассматриваемых условий, путем соответствующих технико-экономических расчетов. В общем случае годовая экономия от применения варианта схемы может быть определена с учетом следующих факторов: снижения

себестоимости тонны угля за счет Увеличения нагрузки на очистной забой, экономии на каждой тонне дополнительно извлекаемых запасов из целиков угля, снижения затрат на кондиционирование при меньшем нагревании воздуха, обеспечиваемого схемой или повышения производительности труда, сокращение затрат на выполнение мероприятий по борьбе с пылью, повышение надежности при аварийных режимах и эффективности дегазации пластов-спутников скважинами, сокращения объема проведения выемочных подготовительных выработок, а также дополнительных затрат на укрепление и восстановление повторно используемых выработок и при необходимости на проведение новых для осуществления варианта схемы.

Выполненные обширные исследования и результаты достаточно широкого внедрения различных вариантов СПВУ на шахтах Донбасса в различных горно-геологических условиях позволяют рекомендовать основные конкретные эффективные варианты их для наиболее характерных условий разработки угольных пластов. В то же время не следует допускать на шахтах применение СПВУ когда по двум выработкам подводится к лаве свежая струя и двум отводится), хотя и относящихся к 3 типу, т.е. СПОРВ, но не обеспечивающих безопасности ведения работ. Такие схемы характеризуются весьма низкой степенью устойчивости воздушного потока в лаве (диагонали), трудно регулируется, а часто вообще невозможно обеспечить требуемое распределение воздуха по выработкам, хотя в литературе такие схемы часто рассматриваются и даже иногда рекомендуются к применению.

Не обеспечивают достаточную надежность, а в ряде условий и безопасность схемы с зависимым выработанным пространством (спаренные лавы и др.) Их не следует применять на самовозгорающихся и выбросоопасных пластах, пластах, опасных по пыли с любым видом СПВУ (независимо от типа).

Во всех условиях, в которых повторное использование выемочного штрека дешевле или не дороже проведения нового с учетом экономии от ликвидации потерь угля в целиках и нет необходимости проведения дополнительных выработок, применение СПОРВ всегда выгодно (даже без учета повышения безопасности и улучшения санитарно-гигиенических условий) независимо от газообильности и даже на негазовых шахтах. Неглубокие, негазовые и малогазовые шахты. Использование вариантов СППРВ и выдача исходящей струи на выработанное пространство (1-В) может быть оправдано, если нагрузка на лаву не ограничивается газовым фактором. Применение схем с выдачей исходящей на массив угля) допускается только при условии, что будет исключена опасность скоплений метана на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой. Эта опасность исключается, если

$$K_6 = \frac{\varphi A_{ос} q_{в.н}}{Q_{ос} (K_{ум.с} - 1)} < 1,$$

где  $K_6$  – коэффициент безопасности;

$\varphi$  – коэффициент, учитывающий неравномерность выноса метана;  $\varphi$  – 0,14 для лав с независимым выработанным пространством (одиночные);  $\varphi$  – 0,26 – для лав с зависимым выработанным пространством (спаренные) и выда-

чей исходящей по средней выработке и  $\varphi=0,20$  при выдаче исходящей по бортовым (крайний выработкам;

$A_{ов}$  – среднесуточная добыча из очистной выработки, т;

$q_{в.п}$  – относительное газовыделение из выработанного пространства, м<sup>3</sup>/т;

$Q_{ов}$  – расход воздуха для проветривания очистной выработки, м<sup>3</sup>/мин;

$K_{вт.в}$  - коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство.

Для значительного объема рассматриваемых условий разработке угольных пластов эффективно также применение различных вариантов СПОРВ, например 1-4 (рис.4.16).

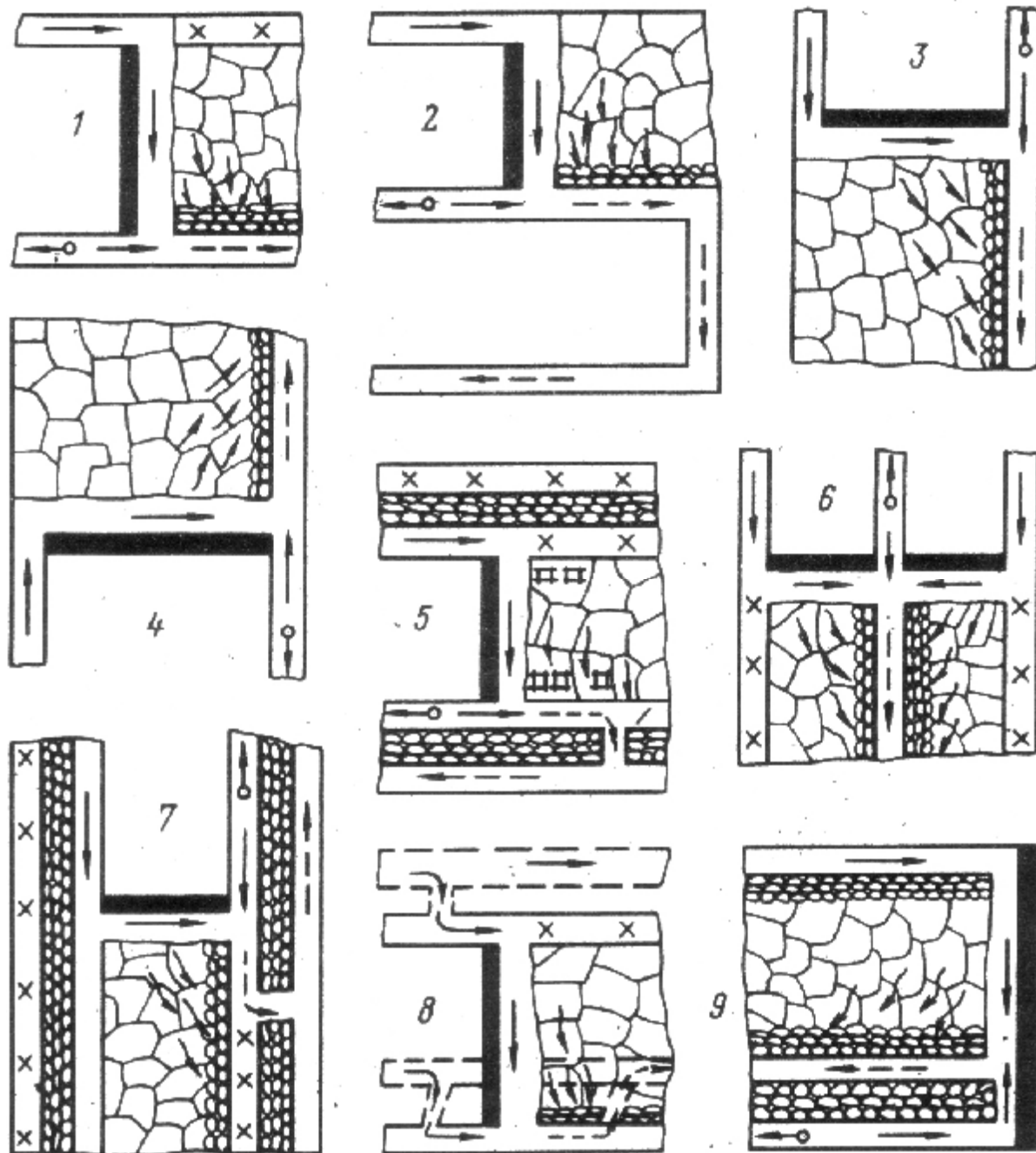


Рис. 4.16. Основные наиболее эффективные варианты СПОРВ.

#### **4.9.2. Выбор схемы проветривания выемочного участка для газовых и глубоких шахт**

В качестве типовых, пригодных для абсолютного большинства шахтопластов, вынимаемых сразу на полную мощность, принимаются варианты 1-7 (рис. 4.16), как наиболее универсальные и рациональные и полностью отвечающие всем основным требованиям, предъявляемым к СПВУ. Для обеспечения объективной безопасности ведения работ при применении столбовой системы разработки на указанные варианты схем следует переходить при метановыделении из выработанного пространства более 2-3 м<sup>3</sup>/мин, т.е. при  $K_b > 1$ ; а при необходимости улучшения теплового режима на выемочных участках независимо от газообильности выработок.

Чтобы обеспечить рассредоточенный вынос метана из выработанного пространства на участке выемочного штрека, в вариантах 5 и 7, последний необходимо поддерживать буро- или кустокострами (или любым другим неплотным изолятором) на расстоянии не менее 40-100 м в зависимости от величины газовыделения из выработанного пространства. Данные варианты схем обеспечивают максимальную эффективность дегазации спутников при бурении дегазационных скважин с вентиляционной выработки.

На пластах мощностью более 1,5 м с весьма неустойчивыми боковыми породами дополнительные затраты на поддержание вентиляционной выработки в выработанном пространстве должна быть компенсированы положительными факторами (увеличение нагрузки, улучшение теплового режима и т.д.).

#### **4.9.3. Выбор схемы проветривания выемочного участка для шахт, разрабатывающих выбросоопасные пласты**

Наиболее полно всем требованиям отвечают варианты схем 1-4 (рис.4.7). При необходимости применения (как исключение в особо сложных условиях) сплошной системы разработки наиболее рациональной является схема 9. Однако, в последние годы на ряде шахт Донбасса, разрабатывающих выбросоопасные пласты, эту схему начали применять в несколько измененном виде.

Увеличили длину лавы до 300 и даже 400 м, выработку с исходящей подняли выше, почти к середине лавы. Работы в некоторых из них ведутся по графикам, предусматривающим максимальное совмещение во времени производственных процессов, в том числе одновременную выемку угля в обеих частях лавы. Это практически получаются две зависимые, с точки зрения вентиляции, лавы со всеми вытекающими последствиями. На других же шахтах, если в одной части лавы ведут выемку угля, в другой выполняют противовыбросные мероприятия, что также мало меняет положение. Даже при умеренном выбросе загазированной будет призабойное пространство обеих частей лавы, т.е. резко возрастает число людей, подвергающихся опасности. Поэтому на выбросоопасных пластах такую схему применять не следует. При организации же работ, как и в обычных лавах, длиной 150...200 м, снижаются технико-экономические показатели.



На действующих шахтах, когда существующая планировка не позволяет сразу перейти на наиболее эффективный вариант СПОРВ, рекомендуется переход этот осуществлять путем отработки первой лавы, например, по сплошной системе разработки, а затем использования выемочных выработок ее, чтобы перейти на схему с двумя свежими струями (рис.4.17).

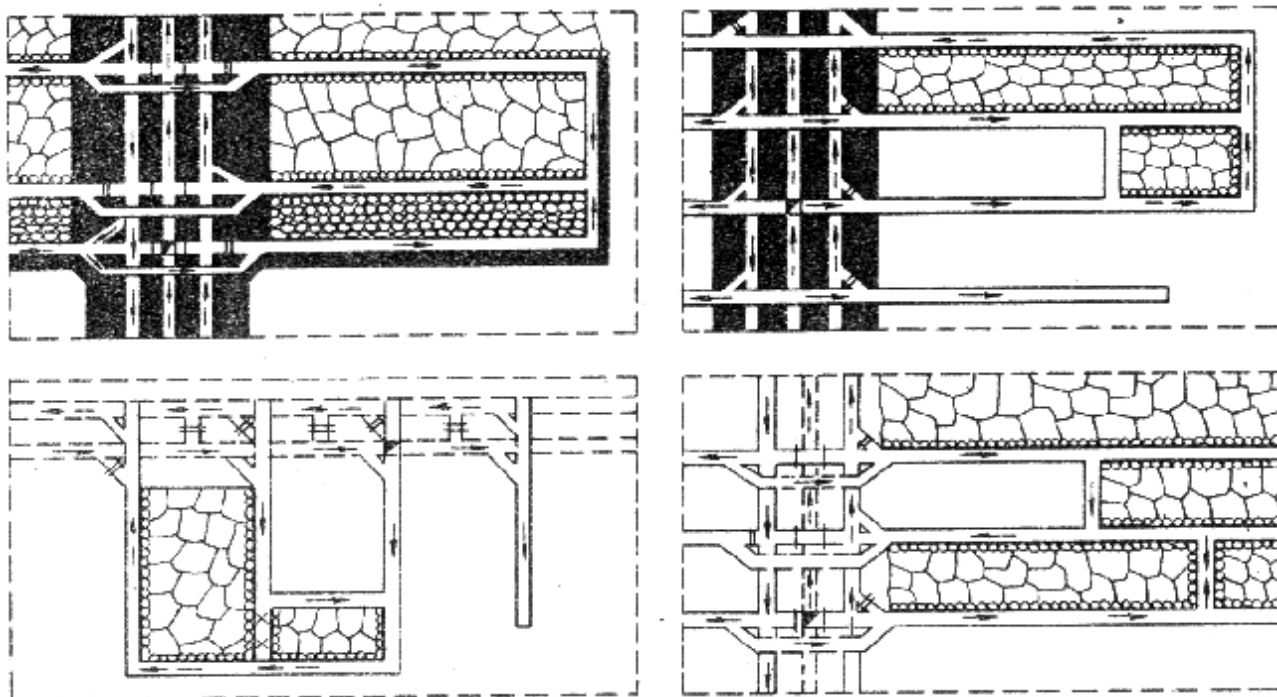


Рис. 4.17. Способы перехода на СПОРВ на действующих шахтах.

#### **4.9.4. Выбор схемы проветривания выемочного участка для шахт, разрабатывающих самовозгорающиеся пласты**

На газовых и глубоких шахтах рекомендуются варианты 5, 7 и 8. В этих схемах обеспечивается наиболее простое и надежное регулирование длины пожаробезопасной зоны выработанного пространства путем изменения расстояния между сбойками. Последнее не должно превышать 50-80 м в зависимости от газообильности выработанного пространства, пожароопасности пласта и других факторов.

При скорости подвигания лавы более 60-70 м в месяц на газовых шахтах, отсутствии разрывных нарушений пласта могут применяться (кроме шахтопластов 1 группы) также варианты 1-4.

#### **4.9.5. Выбор схемы проветривания выемочного участка для шахт, разрабатывающих пласты с неустойчивыми боковыми породами**

В весьма сложных горно-геологических условиях, когда требуется полевая подготовка или возможна отработка только сплошной системой разработки, рекомендуются варианты 8 и 9 (рис. 4.16).

#### 4.10. Схемы вентиляции при разработке мощных крутых пластов

При щитовой системе разработки мощных крутых пластов очистной забой проветривается по схеме, показанной на рис. 4.18. Свежий воздух поступает в забой по углеспускным печам, проходит по призабойному пространству под щитом и далее через сбойку и ходовую печь поступает в вентиляционный штрек.

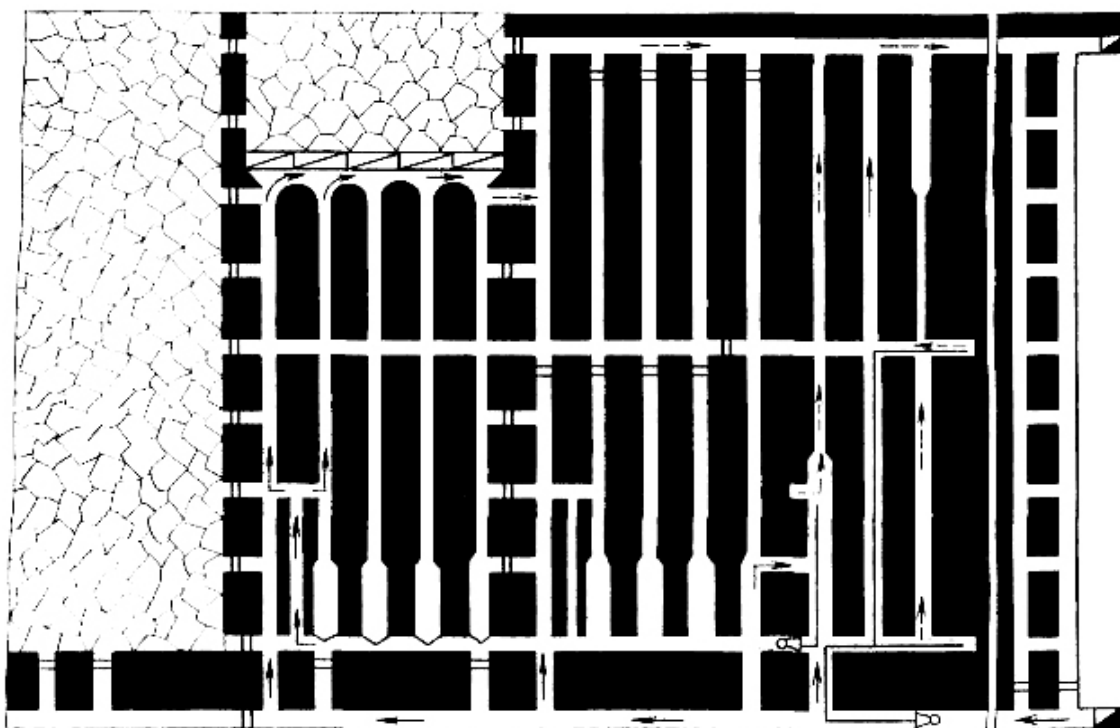


Рис. 4.18. Схема вентиляции выемочного участка при щитовой системе разработки мощных крутых пластов

Целесообразность перехода на указанные варианты определяется технико-экономическим расчетом. В ряде условий может быть применена схема 6.

В случае разработки мощных крутых пластов с закладкой выработанного пространства и длинными столбами по простираению вентиляция участка осуществляется по схемам, показанным на рис. 4.19 и 4.20.

При гидравлической выемке крутых пластов мощностью 6–8 м с применением однопанельной подэтажной гидроотбойки используется схема вентиляции, при которой воздух на участок поступает с аккумулирующего штрека (рис. 4.21). На последнем установлены вентиляторы местного проветривания, подающие воздух в очистные забои подэтажей по трубопроводам, проложенным в ходовой печи. Исходящая струя по ходовой печи отводится в вентиляционный штрек. Наличие в схеме вентиляторов местного проветривания вызывает увеличение расхода энергии на вентиляцию при незначительной подаче воздуха в очистной забой, который в данном случае не проветривается сквозной струей. Воздух поступает в забой в значительной степени за счет эжектирую-

щего воздействия гидромониторной струи. Поэтому в очистных забоях могут образовываться скопления метана.

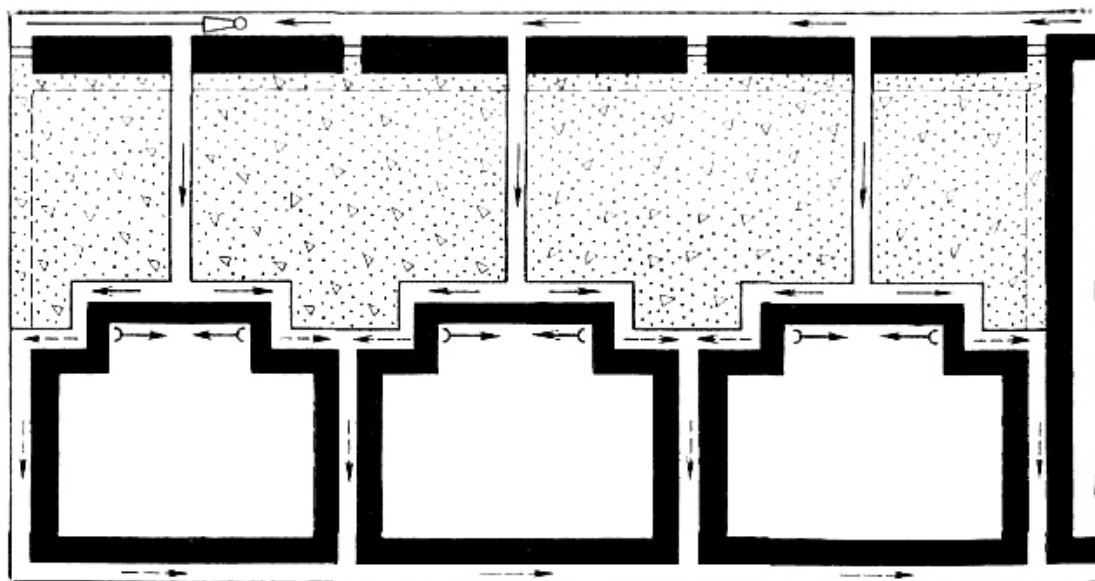


Рис. 4.19. Схема вентиляции выемочного участка при разработке мощных крутых пластов с закладкой выработанного пространства

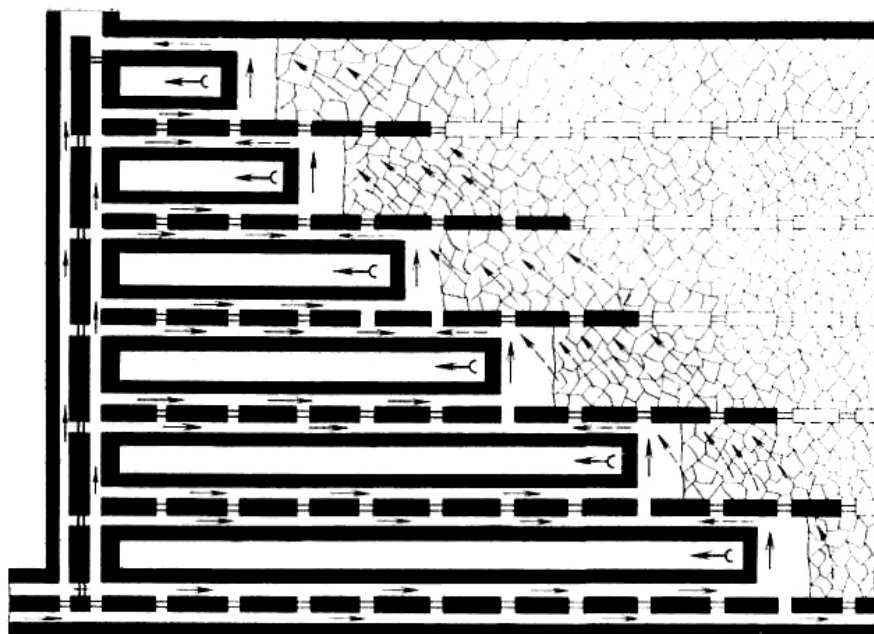


Рис. 4.20. Схема вентиляции выемочного участка при разработке мощных крутых пластов длинными столбами по простиранию

В аналогичных условиях применяется схема вентиляции очистных забоев за счет общешахтной депрессии (рис. 4.22). В этом случае подэтажи через каждые 6 м соединяются печами. Воздух поступает по аккумулялирующему штреку и по печам подается в очистной забой. Затем воздушная струя направляется по под-этажному штреку в ходовую печь и далее в общешахтную исходящую

струю. Распределение воздуха регулируется с помощью перемычек. Достоинства схемы – высокая надежность, отсутствие вентиляторов местного проветривания и трубопроводов. Недостатки – необходимость проведения большого числа нарезных выработок и устройства перемычек, высокие утечки воздуха.

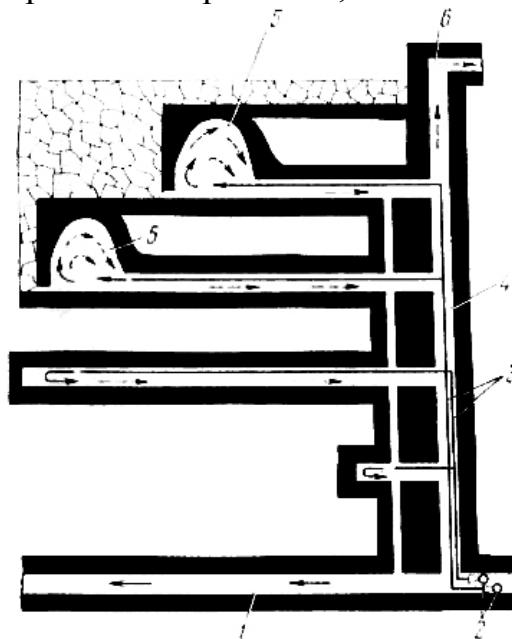


Рис. 4.21. Схема вентиляции выемочного участка с применением вентиляторов местного проветривания при однопанельной подэтажной гидроотбойке угля: 1 – аккумулирующий штрек; 2 – вентиляторы местного проветривания; 3 – вентиляционные трубопроводы; 4 – ходовая печь; 5 – очистные забои подэтажей; 6 – вентиляционный штрек

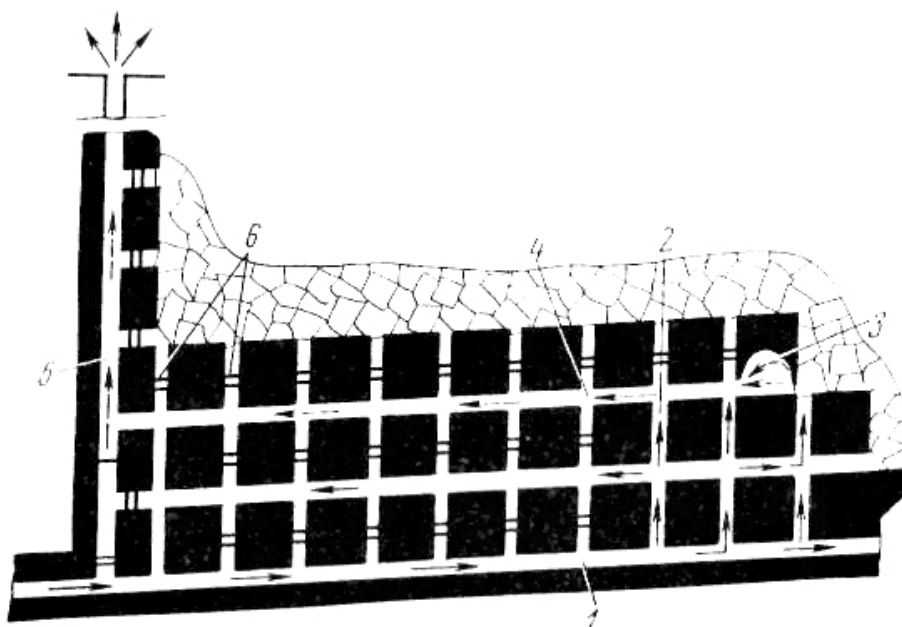


Рис. 4.22. Схема вентиляции выемочного участка за счет общешахтной депрессии при однопанельной подэтажной гидроотбойке угля:

1 – аккумулирующий штрек; 2 – печи; 3 – очистной забой; 4 – подэтажный штрек; 5 – ходовая печь; 6 – перемычки

Движение гидросмеси в открытых желобах выработок гидрошахт вызывает дополнительное аэродинамическое сопротивление при встречном движении воздуха и помогает движению воздуха при попутном его движении. Поэтому к схемам проветривания на гидрошахтах предъявляется требование попутного движения гидросмеси и воздуха (особенно в выработках, непосредственно примыкающих к очистным забоям, где расход воздуха незначителен). На гидрошахтах необходимо обращать особое внимание на надежность проветривания очистных забоев. В случае использования схем с применением вентиляторов местного проветривания необходимо обеспечить требуемую дальность свободной воздушной струи. С этой целью применяются спаренные вентиляторы, обращается особое внимание на герметичность трубопроводов, не допускается рециркуляция воздушного потока.

#### 4.11. Проветривание выемочных участков марганцевых шахт

При добыче марганцевой руды в очистных тупиковых заходках используется нагнетательный способ проветривания

Этот способ осуществляется по схеме, показанной на рис. 4.23.

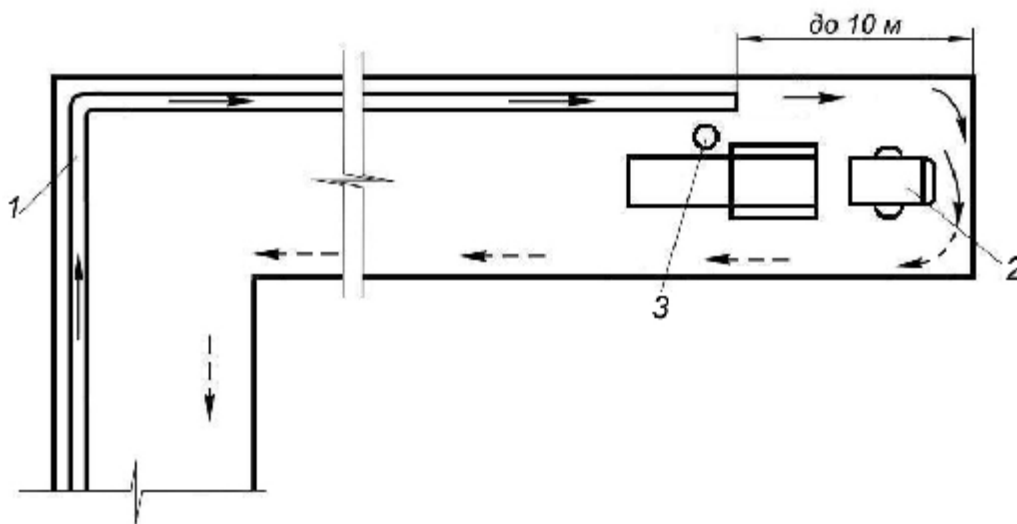


Рис. 4.23. Схема нагнетательного проветривания тупиковой выработки

При данном способе вентилятор местного проветривания располагается в сквозной выработке на свежей струе воздуха. От него идет в подготовительную выработку вентиляционный трубопровод (обычно гибкий, резиноканевый, составленный из отдельных звеньев длиной 20 м). Диаметр трубопровода может быть различным: 600, 800, 1000 мм иногда при большой длине – 1200 мм. Выпускной конец воздухопровода не доходит до плоскости забоя на несколько метров. Это отставание по требованию ПБ не должно превышать 10 м. На практике возможны случаи нарушения указанного требования. Это связано с тем, что при непрерывном подвигании забоя в процессе проходки выработки отставание воздухопровода от забоя периодически компенсируется отдельными частями труб той или иной длины. При этом перед монтажом очередного звена

труб возможно положение, при котором труба располагается почти вплотную к забою.

В последнее время все большее распространение получают так называемые аккумуляторы труб, представляющие собой гофрированные (тканевые, армированные провололочной спиралью) рукава, длина которых в сжатом состоянии составляет примерно 20 м, а в растянутом — 100 м. Это позволяет концу воздухопровода перемещаться вместе с комбайном непрерывно по мере продвижения забоя, и тем самым выдерживать одно и то же расстояние между поверхностью забоя и концом вентиляционного става.

Основными требованиями к нагнетательной схеме проветривания являются:

- расположение ВМП (вентилятора местного проветривания) на свежей струе не ближе 10 м от устья выработки;
- производительность ВМП не должна быть более 70% от расхода воздуха, поступающего к его всасу.

Нагнетательный способ имеет ряд преимуществ перед другими способами, а именно:

- в призабойное пространство, где находятся люди и оборудование, поступает свежий воздух;
- подача воздуха по трубопроводу исключает его загрязнение по пути к забою;
- выходящая из трубы свободная струя имеет большую скорость, что обеспечивает активное перемешивание и вынос вредных и опасных газов из забоя;
- для реализации способа применяются относительно дешевые и менее трудоемкие в эксплуатации гибкие тканевые трубы;
- при нагнетательном способе возможно применение насадок и конфузоров для увеличения дальности вентиляционной струи.

Вместе с тем при нагнетательном способе весь объем воздуха, предназначенный для проветривания выработки, проходит через источники пылеобразования: первичные (разрушение и погрузка горной массы вблизи забоя) и вторичные (пункты перегрузки транспортируемой массы руды), что способствует более интенсивному выносу пыли вентиляционной струей.

Загрязненный газами и пылью вентиляционный поток, двигаясь по выработке, захватывает пыль из вторичных источников пылеобразования и вся выработка в целом становится наполненной загрязненным воздухом.

При всасывающем способе проветривания ВМП располагается на исходящей из выработки струе (рис. 4.24). Загрязненный воздух засасывается через вентиляционный воздухопровод и выбрасывается из него в проходящую мимо тупиковой выработки струю.

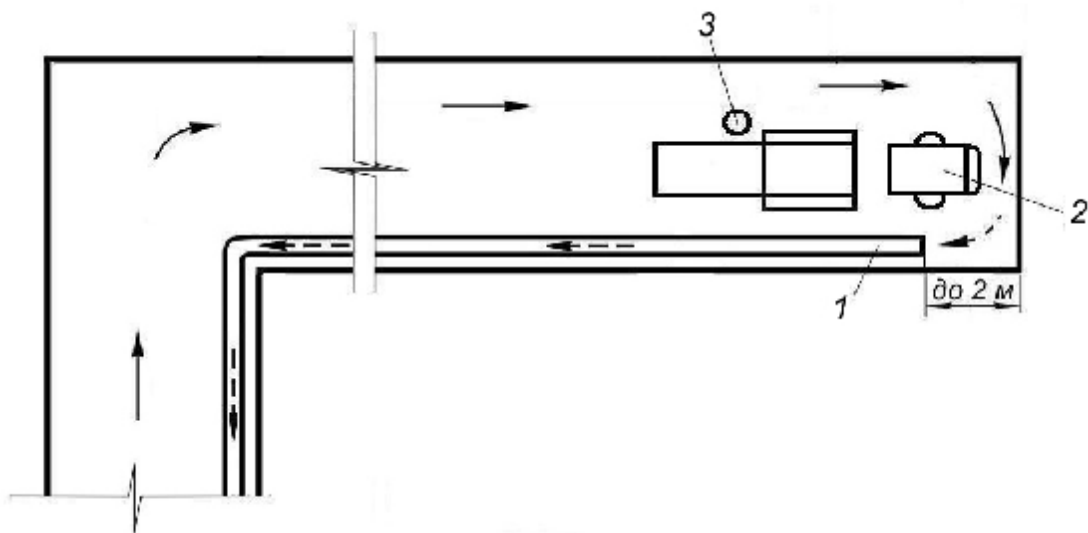


Рис. 4.24. Схема всасывающего проветривания тупиковой выработки:  
1 – всасывающий трубопровод; 2 – комбайн; 3 – рабочее место машиниста.

Всасывающий став монтируется из звеньев жестких труб (металлических или пластиковых). В последнее время для данного способа разработаны тканевые, армированные проволокой, рукава,

Сравнение, всасывающего способа проветривания с нагнетательным позволяет выделить некоторые преимущества первого, а именно:

– пыль, вредные газы, выделяющиеся в призабойное пространство, не распространяются по выработке, а засасываются в вентиляционную трубу и выбрасываются за пределами выработки, что позволяет, например, совмещать технологические операции с проветриванием, а следовательно, увеличивать темпы проведения выработки.

С другой стороны, эта схема имеет для условий марганцевых шахт недостатки:

- во-первых, необходимость строгого соблюдения условия эффективности всасывания, для чего необходимо поддерживать постоянное расстояние между грудью забоя и концом вентиляционного трубопровода, находящегося в пределах четырех- пяти диаметров трубопровода;

- во-вторых, применение жестких воздухопроводов, обуславливает необходимость дополнительного места для их складирования, что вызывает дополнительные сложности вызванные высоким горным давлением в условиях марганцевых шахт. При этом жесткие воздухопроводы всегда будут приходить в негодность в зоне сопряжения выемочного штрека с заходкой.

Кроме того запыленный воздух исходящей струи необходимо очищать, поэтому всасывающий способ нерационален.

При комбинированной схеме проветривания всасывающий трубопровод необходимо располагать со стороны, противоположной рабочему месту машиниста комбайна (рис. 4.25). Нагнетательный трубопровод находится с противоположной стороны. Удаление конца трубопровода до груди забоя должно быть таким, чтобы рабочее место машиниста комбайна находилось в пределах дальности истекающей воздушной струи, то есть соответствовать условию:

$$l_{\max} \leq 0,58 \frac{S}{aP_e} + 0,6 \frac{S}{d} \quad (4.1)$$

где  $S$  – площадь сечения заходки,  $\text{м}^2$ ;

$P_e$  – периметр выработки,  $\text{м}$ ;

$a$  – коэффициент структуры струи; для марганцевых шахт  $a = 0,1-0,15$ .

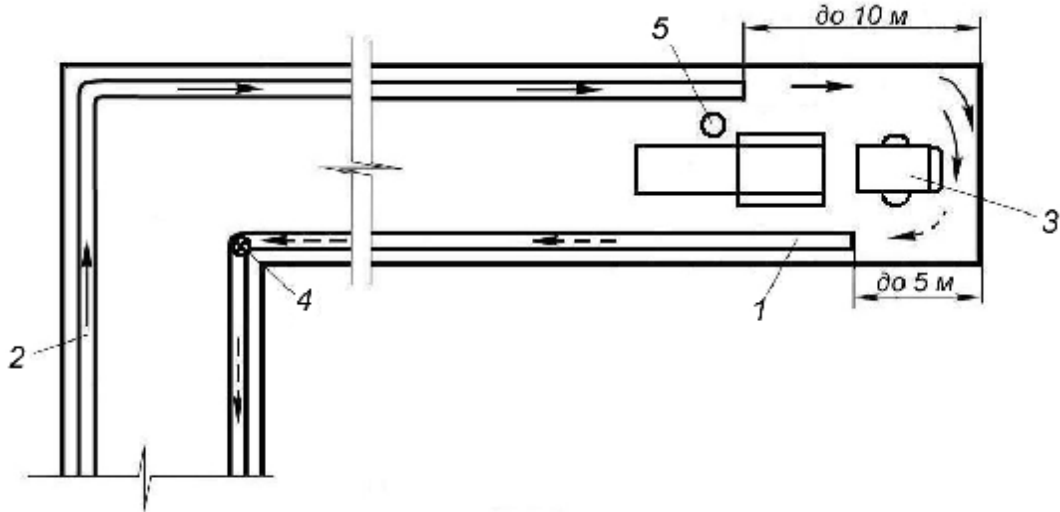


Рис. 4.25. Комбинированная схема проветривания:

1 – всасывающий трубопровод; 2 – нагнетательный трубопровод; 3 – комбайн; 4 – вентилятор; 5 – рабочее место машиниста.

Чтобы пыль из призабойного пространства не распространялась по горным выработкам, необходимо выполнить условие, при котором количество отсасываемого воздуха должно превышать расход подаваемого к забою воздуха. Разность между этими величинами будет равна количеству воздуха, перемещающегося по выработке к забою. То есть соотношение между дебитами струй при комбинированном проветривании определяется из следующего равенства

$$Q_n = 0,8 Q_{вс} \quad (4.2)$$

Этот поток создает аэродинамическую завесу, препятствующую распространению воздуха от забоя. С учетом того, что оптимальное количество воздуха, подаваемое в комбайновую заходку составляет  $1,2 \div 1,4 \text{ м}^3/\text{с}$ , то по всасывающему трубопроводу должно проходить  $1,5 \dots 1,75 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Производительность нагнетательного вентилятора определяется с учетом утечек воздуха в трубопроводе. Поэтому

$$Q_в = k_y \cdot Q_n \quad (4.3)$$

Депрессия вентилятора

$$H_в = R Q_в^2 \quad (4.4)$$

где  $R$  – аэродинамическое сопротивление трубопровода,  $\text{к}\mu$ .

В качестве нагнетательного вентилятора обычно используют СВМ-5м, иногда СВМ-4м.

Производительность всасывающего вентилятора определяется из выражения:

$$Q_в = \eta Q_{вс} \quad (4.5)$$



где  $\eta$  - коэффициент доставки.

Для жестких трубопроводов  $\eta$  может определяться по формуле:

$$\eta = \frac{1}{\left(\frac{1}{3}kd \frac{L}{m} \sqrt{R} + 1\right)^2} \quad (4.6)$$

где  $k$  – коэффициент удельной стыковой воздухопроницаемости;  $k = 0,0025 \div 0,003$  при удовлетворительном качестве сборки трубопровода и  $k = 0,001 \div 0,002$  при хорошем;

$m$  – длина одного звена трубопровода, м;

$R$  – сопротивление трубопровода длиной  $L$ , определяется по формуле :

$$R = 6,45 \frac{\alpha L}{d^5}, k\mu \quad (4.7)$$

$\alpha$  - коэффициент аэродинамического сопротивления,  $кг \cdot с^2 / м^4$

$d$  – диаметр трубопровода, м.

Анализ применяемых схем проветривания тупиковых забоев показывает, что улучшить санитарно-гигиенические параметры призабойной атмосферы можно путем перераспределения воздушных потоков по длине и сечению выработки. При этом возможно создание локальной зоны, в которой запыленность будет снижена на рабочем месте машиниста комбайна.

Одним из вариантов такой схемы может быть комбинированная схема с эжектором турбулизатором (рис. 4.26). В этом случае всасывающий вентилятор может быть установлен как на сопряжении заходки и выемочного штрека, так и в нише на самом выемочном штреке.

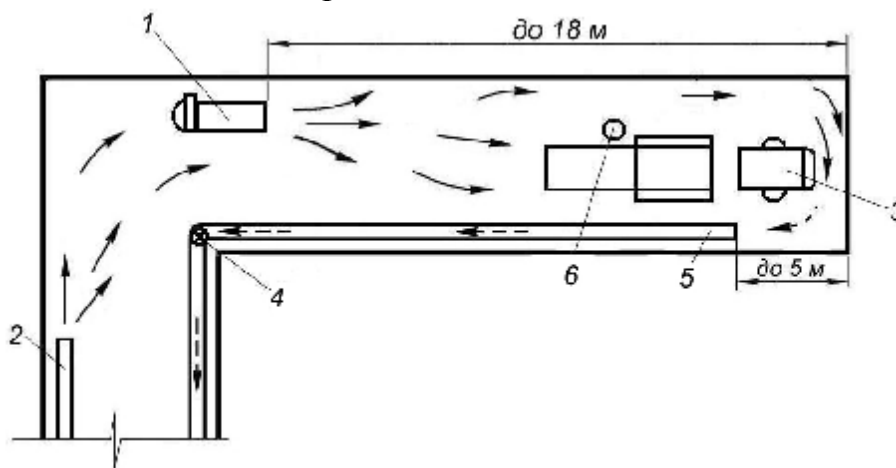


Рис. 4.26. Комбинированная схема проветривания с эжектором турбулизатором:

1 – эжектор-турбулизатор; 2 – гибкий нагнетательный трубопровод; 3 – комбайн; 4 – вентилятор; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – рабочее место машиниста.

Жесткий всасывающий воздуховод используется в заходке, длина которой составляет 30-35м, а его конец располагается на уровне разгрузочного конвейера комбайна на расстоянии 5...5,5м от груди забоя. На нагнетающей стороне вентилятора применяется гибкий воздуховод.

Эжектор - турбулизатор может располагаться по двум схемам. В первой схеме эжектор небольшой производительности устанавливается перед рабочим местом машиниста комбайна. Его дебит определяется дальностью исходящей из него струи. Она должна быть в пределах 2,5...3 м. Эжектор в этой схеме создает воздушную завесу со стороны машиниста и ликвидирует застойные проветриваемые зоны в призабойном пространстве, которые могут образоваться при сверхнормативном удалении всасывающего трубопровода. Таким образом, в пространстве, ограниченном концом всасывающего трубопровода, эжектором и забоем будет наблюдаться зона повышенной запыленности. В остальной части заходки будут наблюдаться пониженные уровни запыленности.

В забое со стороны противоположной рабочему месту машиниста располагается эжектор ЭПЗ, который всасывает из призабойной зоны и выдает по гибкому трубопроводу запыленный воздух.

Вторая схема, отличается тем, что эжектор 1 выполняет роль не только роль рециркуляционного побудителя воздушных масс призабойного пространства, но и используется для принудительной подачи свежего воздуха на рабочее место машиниста комбайна. Его дебит в этом случае должен составлять 0,8 дебита всасывающего вентилятора. Поскольку производительность вентилятора должна быть такой, чтобы скорость воздуха в заходке была не ниже 0,25 м/с, то дебит его струи должен быть не менее

$$Q_{вс} = v_{msn} \cdot S \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.8)$$

где  $Q_{вс}$  – дебит струи всасывающего вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $S$  – сечение заходки, м<sup>2</sup>;

$v_{msn}$  – минимальная скорость движения воздуха в заходке, м/с.

При этой схеме машинист комбайна все время находится в зоне действия свежей струи. Застойные зоны не будут образовываться благодаря турбулизирующему действию струи, исходящей из эжектора.

Производительность эжектора составит:

$$Q_{э} = 0,8 Q_{вс} \cdot \quad (4.9)$$

Удаление эжектора 1 от забоя должно равняться дальности истекающей из него воздушной струи, в соответствии с (4.1).

В качестве эжектора предлагается использовать разработанный НИИБТГ эжектор ЭПЗ, техническая характеристика которого, приведена в табл. 4.5.

Таблица 4.5.

Техническая характеристика эжектора ЭПЗ

Наименование параметров	Единица измерения	Значение параметра
Производительность при работе на жесткий воздуховод	м <sup>3</sup> /с	1,28
Диаметр воздуховода	мм	200
Полное давление	кПа	2,3
Расход сжатого воздуха	м <sup>3</sup> /с	0,076
Коэффициент эжекции		1,68
Уровень звука	дБа	80
Габаритные размеры (диаметр, длина)	мм	215x270
Масса	Кг	5,3

#### 4.12. Эжекторно-каскадные схемы проветривания тупиковых заходок

В практике организации проветривания тупиковых выработок известны так называемые каскадные, безтрубные схемы проветривания. Они позволяют увеличить длину безтрубного проветривания в 3-5 раз и основаны на разделении воздушных масс в активно проветриваемой части тупиковой выработки на два противоположно направленных потока, один из которых, двигаясь у одной из стенок выработки доставляет свежий воздух до забоя, а другой поток, двигаясь у противоположной стенки выработки в обратном направлении, выдает загрязненный воздух.

Считается, что наиболее полное разделение воздуха на прямой и обратный потоки происходит при установке второго эжектора в обратном потоке на расстоянии, равном сумме начальных участков струй истечения обоих эжекторов.

На основании изложенного институтом ВНИИБТГ разработаны три эжекторно-каскадных схемы проветривания тупиковых заходок (рис. 4.27).

Согласно технологии отработки тупиковой заходки нагнетательный трубопровод, подающий свежий воздух, может располагаться как со стороны машиниста комбайна, так и с противоположной стороны.

На схеме (рис. 4.27 а) представлена картина процесса проветривания при расположении нагнетательного трубопровода со стороны машиниста комбайна. При этом свежий воздух поступает к рабочему месту машиниста.

Чтобы разделить загрязненный и чистый потоки, на противоположной стороне заходки установлен эжектор 3, исходящая из которого струя направлена в сторону, противоположную истекающей из трубопровода 4 струи.

Основываясь на исследованиях пылединамики призабойного пространства тупиковой заходки оптимальный дебит чистой струи должен составлять 1,2 – 1,4 м<sup>3</sup>/с воздуха. Для того, чтобы машинист комбайна находился в зоне омываемой свежим воздухом, расстояние конца нагнетательного трубопровода от груди забоя не должно превышать дальнобойности струи.

При ограниченном дебите струи, исходящей из трубопровода, на конечном этапе отработки заходки нагнетательный трубопровод можно не наращивать, а вместо этого использовать дополнительный эжектор, а схема примет вид, указанный на рис. 4.27 б.

По этой схеме свежий воздух поступает по нагнетательному трубопроводу, подхватывается эжектором 5 и доставляется к рабочему месту машиниста 1. Отработанная струя выдается эжектором 3. При этом для машиниста комбайна создается локальная зона пониженной запыленности воздуха.

При расположении нагнетательного трубопровода со стороны противоположной рабочему месту машиниста комбайна снизить запыленность затруднительно, т.к. машинист будет находиться в зоне поступления пылевых частиц в чистую струю. Поэтому предлагается вариант (см. рис. 4.27 в), где свежий воздух подается в заходку по нагнетательному трубопроводу 4. Над конвейером в центре заходки располагается эжектор 5, подающий свежий воздух на рабочее

место машиниста. Расстояние от эжектора 5 до воздуховода 4 равно дальности истекающей из него струи, т.е. 10 м. Расстояние от эжектора до груди забоя равно дальности струи эжектора, т.е. 18 м.

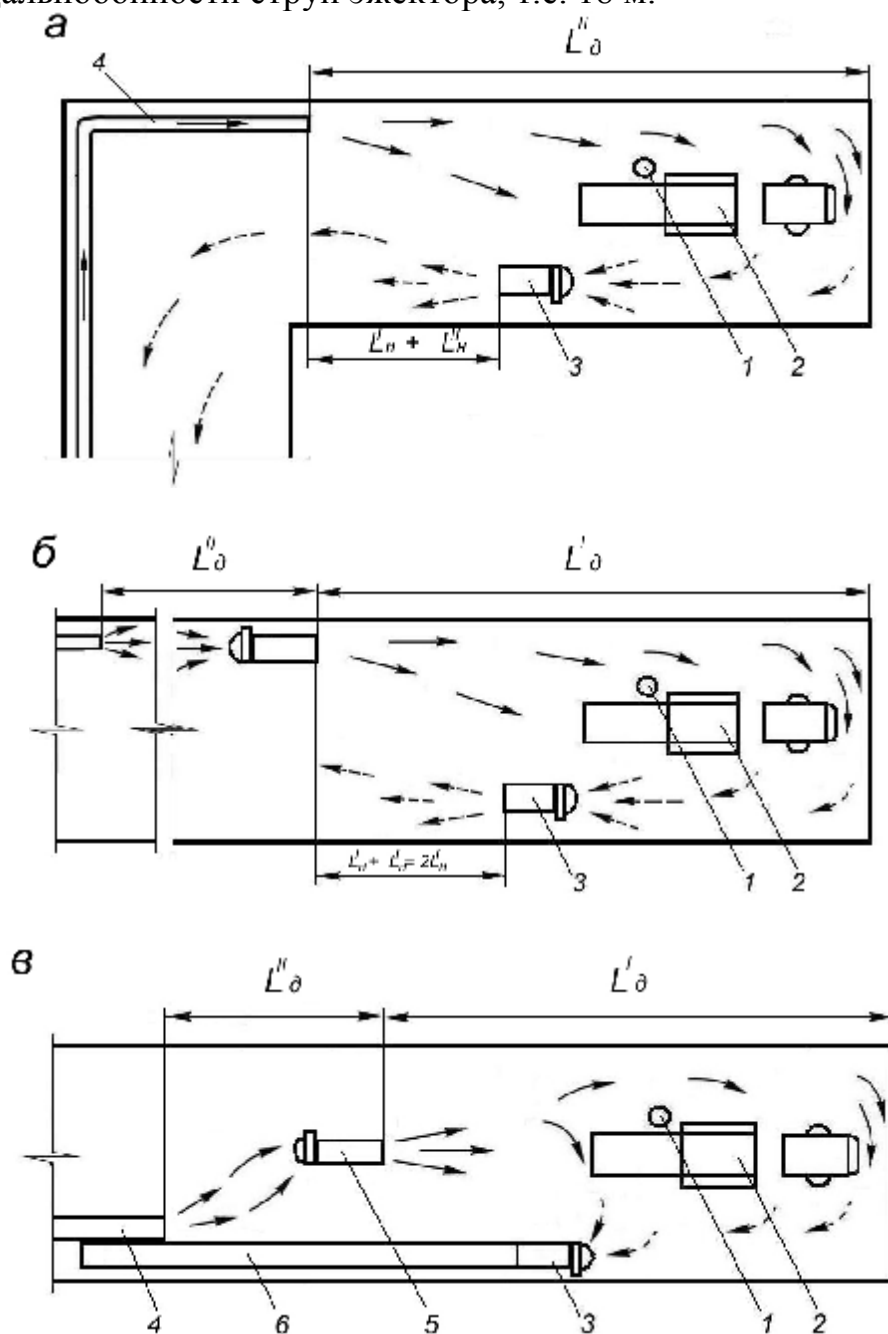


Рис. 4.27. Эжекторно - каскадные схемы проветривания заходок:

1 – рабочее место машиниста; 2 – комбайн; 3 – всасывающий эжектор;

4 – нагнетательный трубопровод; 5 – эжектор; 6 – выдающий трубопровод.

На уровне конца разгрузочного конвейера комбайна, со стороны, противоположной рабочему месту машиниста установлен отсасывающий эжектор с трубопроводом 5, по которому выдается загрязненная струя. Длина трубопровода 5 должна быть такой, чтобы его конец заходил за зону подачи свежего воздуха. Для условий тупиковых заходок она не превышает 10 м.

#### 4.12. Вентиляция очистных блоков в рудных шахтах

С аэродинамической точки зрения все очистные выработки рудников подразделяются на камерообразные и лавообразные. К камерообразным относятся выработки большого объема, в которых турбулентные воздушные потоки являются свободными, т. е. не имеют твердых границ. Процесс разбавления и выноса вредных примесей свободными турбулентными струями весьма сложен, что определило разработку и практическое использование специфических методов расчета вентиляции камерообразных выработок. К лавообразным относятся выработки, в которых турбулентный воздушный поток занимает все пространство. В этом случае турбулентные характеристики потока, определяющие интенсивность процесса разбавления и выноса примесей, формируются твердыми границами (стенками) потока. Камерообразные выработки проветриваются путем подачи воздуха по одной или нескольким выработкам или трубам. Группы камерообразных выработок могут проветриваться последовательно, параллельно и последовательно-параллельно (рис. 4. 28).

Лавообразные очистные выработки в рудных шахтах проветриваются такими же способами, как и в угольных шахтах. В рудных шахтах применяются различные в основном не типовые схемы проветривания очистных забоев.

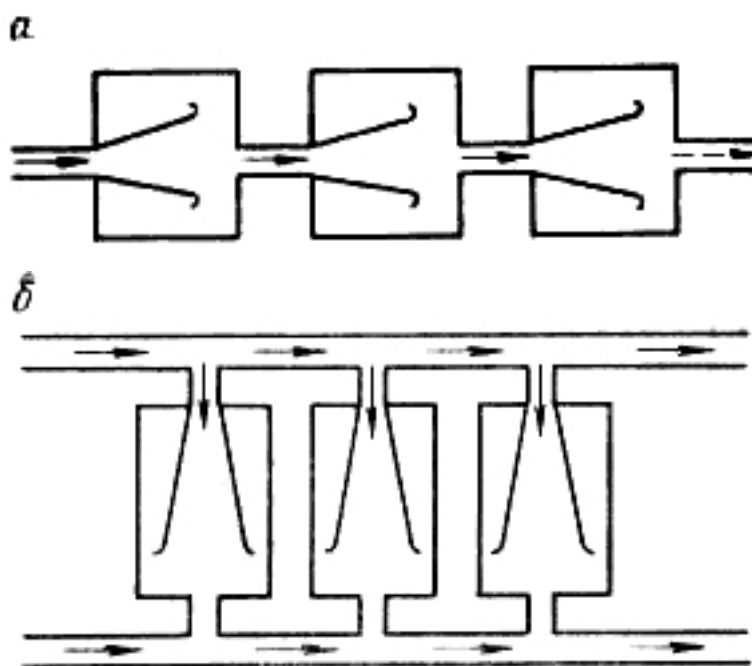


Рис. 4.28. Схемы последовательного (а) и параллельного (б) проветривания группы камерообразных выработок

При системах разработки с естественным поддержанием очистного пространства проветривание очистных блоков осуществляется как за счет турбулентных свободных струй, распространяющихся в относительно ограниченном пространстве, так и за счет интенсивного выноса примесей потоком воздуха, распределенным по всему очистному пространству. Камеры проветриваются свободными струями в основном при механизированной доставке руды, когда

призабойное пространство требует особенно интенсивного проветривания. При сплошной системе разработки проветривание камер осуществляется за счет общешахтной депрессии (рис. 4.29).

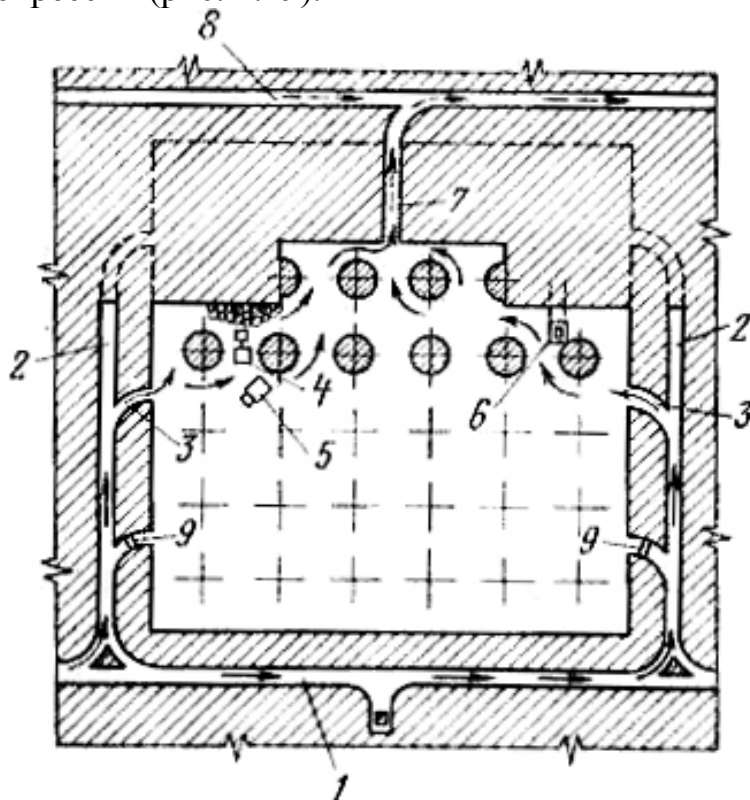


Рис. 4.29. Схема вентиляции очистного блока при сплошной системе разработки: 1 – панельный штрек; 2 – орты; 2 – заезды; 4 – погрузочно-доставочные машины; 5 – вспомогательные машины; 6 – буровые машины; 7 – вентиляционный орт; 8 – вентиляционный штрек; 9 – перемычки

Воздух подается по панельному штреку, ортам и заездам в призабойное пространство, где работают погрузочно-доставочные, вспомогательные и буровые машины. Исходящая струя отводится по вентиляционному орту и далее по вентиляционному штреку. По мере подвигания забоя очистное пространство изолируется перемычками, устанавливаемыми в вентиляционных сбойках. Так как объем выработанного пространства в панелях большой, обеспечить достаточно интенсивную вентиляцию всего выработанного пространства невозможно. Схема вентиляции недостаточно эффективна вследствие больших утечек воздуха, малой скорости его движения по выработкам большого сечения. Слабый вынос вредных газов воздушным потоком в значительной степени компенсируется разбавлением их в камерах. Схемы вентиляции очистных блоков при камерно-столбовых системах разработки более надежны, чем при сплошных системах. При проветривании сквозных камер воздух подается по откаточному штреку и далее за счет общешахтной депрессии или с помощью вспомогательного вентилятора – в очистной забой, из которого по сквозной выработке отводится на вентиляционный штрек (рис. 4.30).

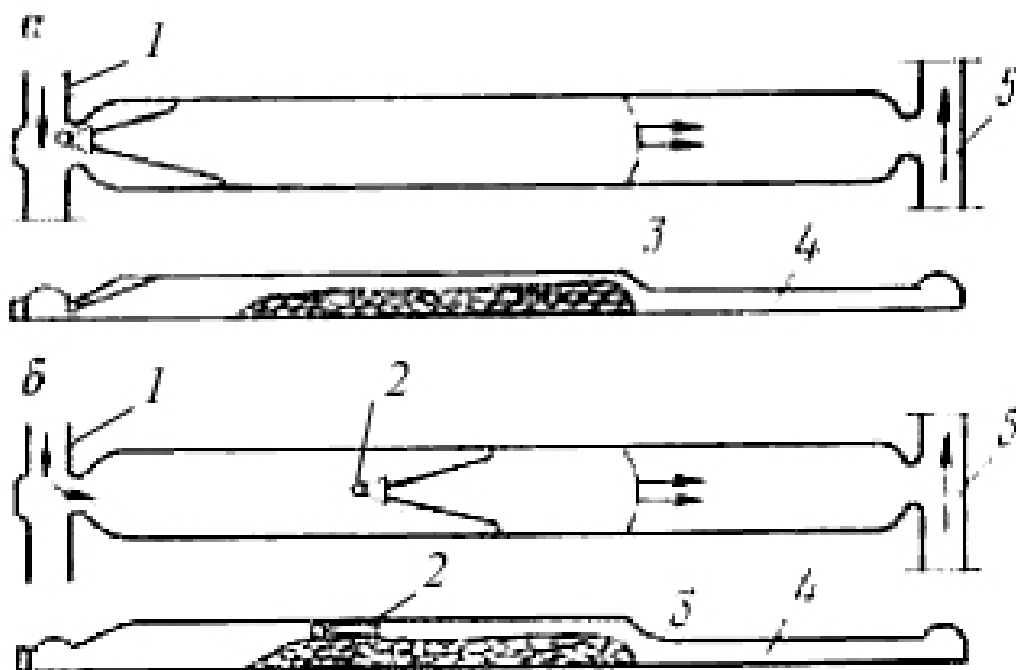


Рис. 4.30. Схема проветривания сквозных камер при камерно-столбовой системе разработки:

1 – откаточный штрек; 2– вспомогательные вентиляторы; 3 – очистной забой; 4 – сквозная выработка; 5 – вентиляционный штрек

В случае проветривания тупиковых камер воздух, подаваемый в камеру нагнетательным вентилятором местного проветривания по трубопроводу, омывает призабойное пространство и поступает на откаточный штрек (рис. 4.31). Проветривание забоя осуществляется нагнетательным или комбинированным способом с применением всасывающего вентилятора местного проветривания.

При различных системах разработки с естественным поддержанием очистного пространства и самотечной доставкой руды схемы вентиляции очистных блоков существенно различаются между собой. Схемы вентиляции блоков при этажно-камерной системе разработки и системе с подэтажной отбойкой обеспечивают интенсивную вентиляцию выработок горизонтов скреперования, грохочения и выпуска руды, а очистное пространство проветривается слабо.

Проветривание выработок горизонта скреперования осуществляется по схеме (рис. 4.32), при которой воздух поступает с откаточного горизонта по восстающим, движется по ортам и распределяется по штрекам скреперования. Исходящая струя по вентиляционному орту поступает в вентиляционный восстающий и далее на вентиляционный горизонт.

При системе разработки подэтажными штреками с отбойкой руды камерными зарядами вентиляция очистного блока осуществляется по схеме, показанной на рис. 4.33. Свежий воздух поступает в блок от главного ствола шахты по откаточному полевому и рудному штрекам, движется по полевым восстающим и выработкам горизонта грохочения и поступает в камеру, где происходит разбавление вредных газов. Исходящая струя отводится по верхним подэтажным штрекам и восстающему на вентиляционный штрек.

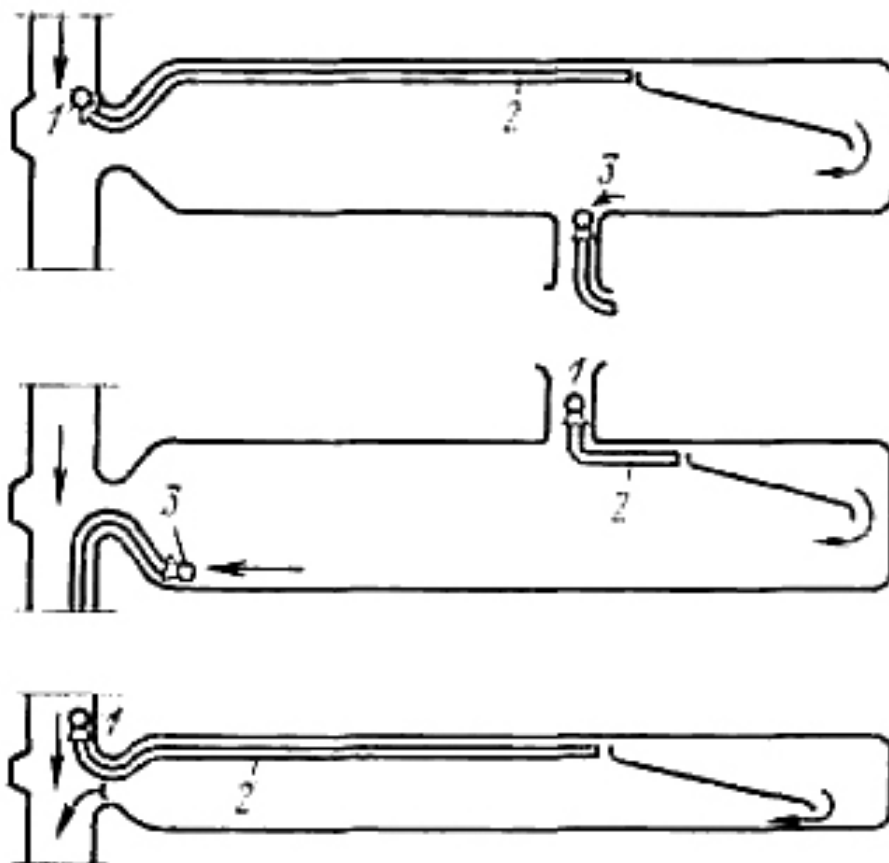


Рис. 4.31. Схемы вентиляции тупиковых камер:

1 – нагнетательные вентиляторы местного проветривания; 2 – вентиляторный трубопровод; 3 – всасывающие вентиляторы местного проветривания

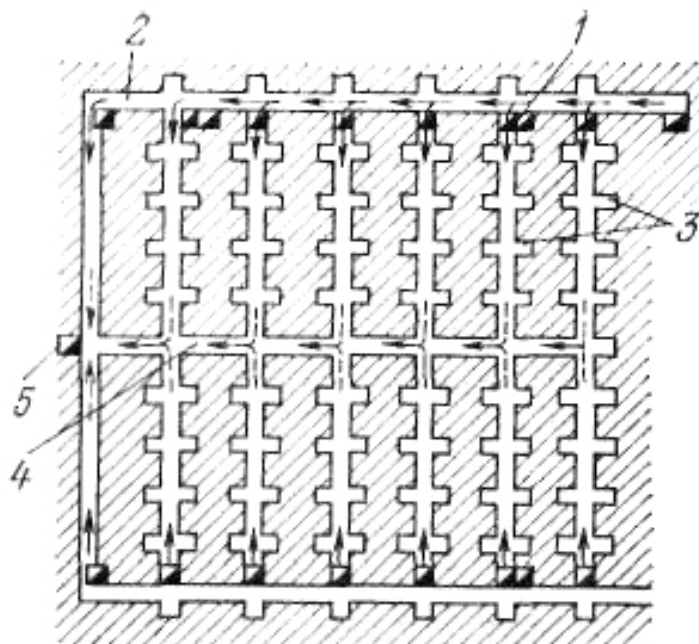


Рис. 4.32. Схема вентиляции выработок на горизонте скреперования:

1 – восстающие; 2 – орт; 3 – штреки скреперования; 4 – вентиляционный орт; 5 – вентиляционный восстающий



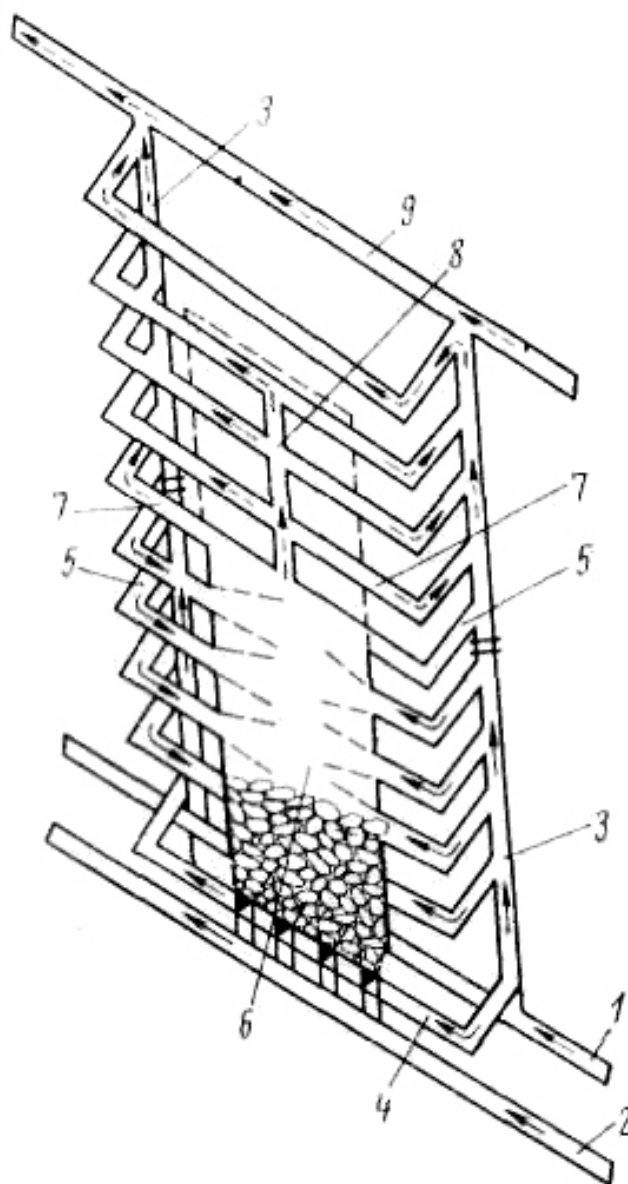


Рис. 4.33. Схема вентиляции блока при системе разработки подэтажными штреками с отбойкой руды камерными зарядами: 1 – откаточный полевой штрек; 2 – рудный штрек; 3 – полевые восстающие; 4 – выработки горизонта грохочения; 5 – сбойки; 6 – камера; 7 – верхние под-этажные штреки; 8 – вентиляционный восстающий; 9 – вентиляционный штрек

В случае торцового выпуска руды проветривание выпускных выработок осуществляется чаще с помощью вентиляторов местного проветривания и трубопроводов.

Проветривание очистного блока при системе подэтажного обрушения с отбойкой руды горизонтальными скважинами и расположением рудоспусков в центре блока осуществляется по схеме, показанной на рис. 4.34. Свежий воздух подается по полевому откаточному штреку, блоковому орту и восстающему в орт рабочего подэтажа. Далее воздух движется по подэтажным штрекам, вентиляционным сбойкам и штреку, проведенному в лежачем боку, и по восстающему отводится на вентиляционный штрек.

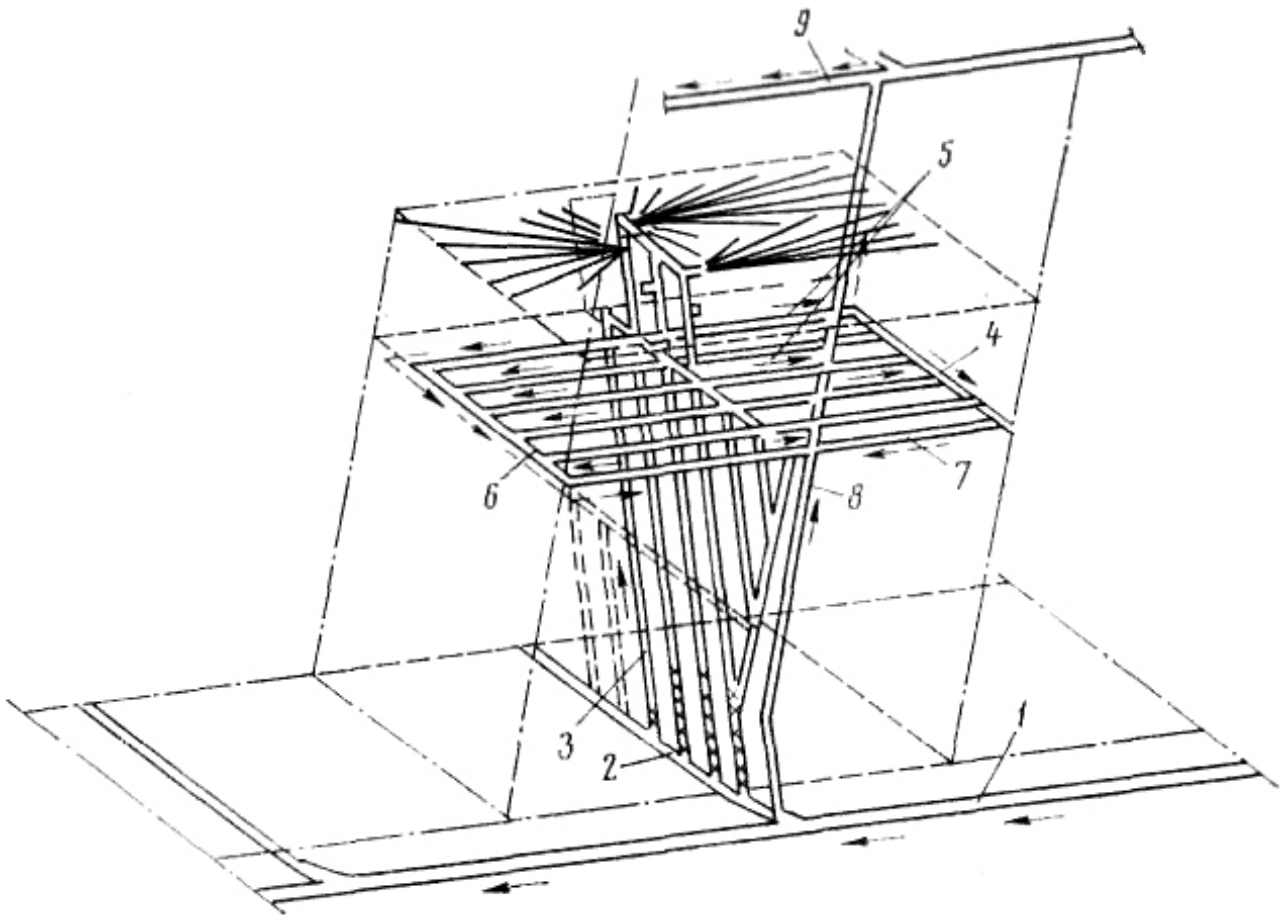


Рис. 4.34. Схема вентиляции блока при подэтажном обрушении с отбойкой руды горизонтальными скважинами:

1 – полевой откаточный штрек; 2 – блоковый орт; 3 – восстающий; 4 – орт рабочего подэтажа; 5 – подэтажные штреки; 6 – вентиляционные сбойки; 7 – штрек в лежачем боку; 8 – вентиляционный восстающий; 9 – вентиляционный штрек

При системе разработки с магазинированием руды свежий воздух подается по рудному и полевому откаточным штрекам и восстающим в очистной забой (рис. 4.35).

Исходящая струя по восстающему отводится на вентиляционный штрек. При отсутствии центрального восстающего для исходящей струи используется один из восстающих.

При системах разработки с этажным и подэтажным обрушением руды и вмещающих пород без поддержания выработанного пространства схемы вентиляции предназначены для обеспечения проветривания выработок горизонта выпуска, подэтажных и оконтуривающих выработок. В случае применения этажного самообрушения вентиляция блока осуществляется по схеме, показанной на рис. 4.36. Свежий воздух поступает из откаточного штрека в орты-заезды и далее по диагонально расположенным восстающим в штреки и распределяется по ортам скреперования. Исходящая струя по вентиляционному восстающему, сборному штреку и вентиляционному орту отводится в восстающий и далее на вентиляционный горизонт. Оконтуривающие выработки проветриваются по

восстающим с отводом исходящей струи в вентиляционный восстающий через штреки и орты.

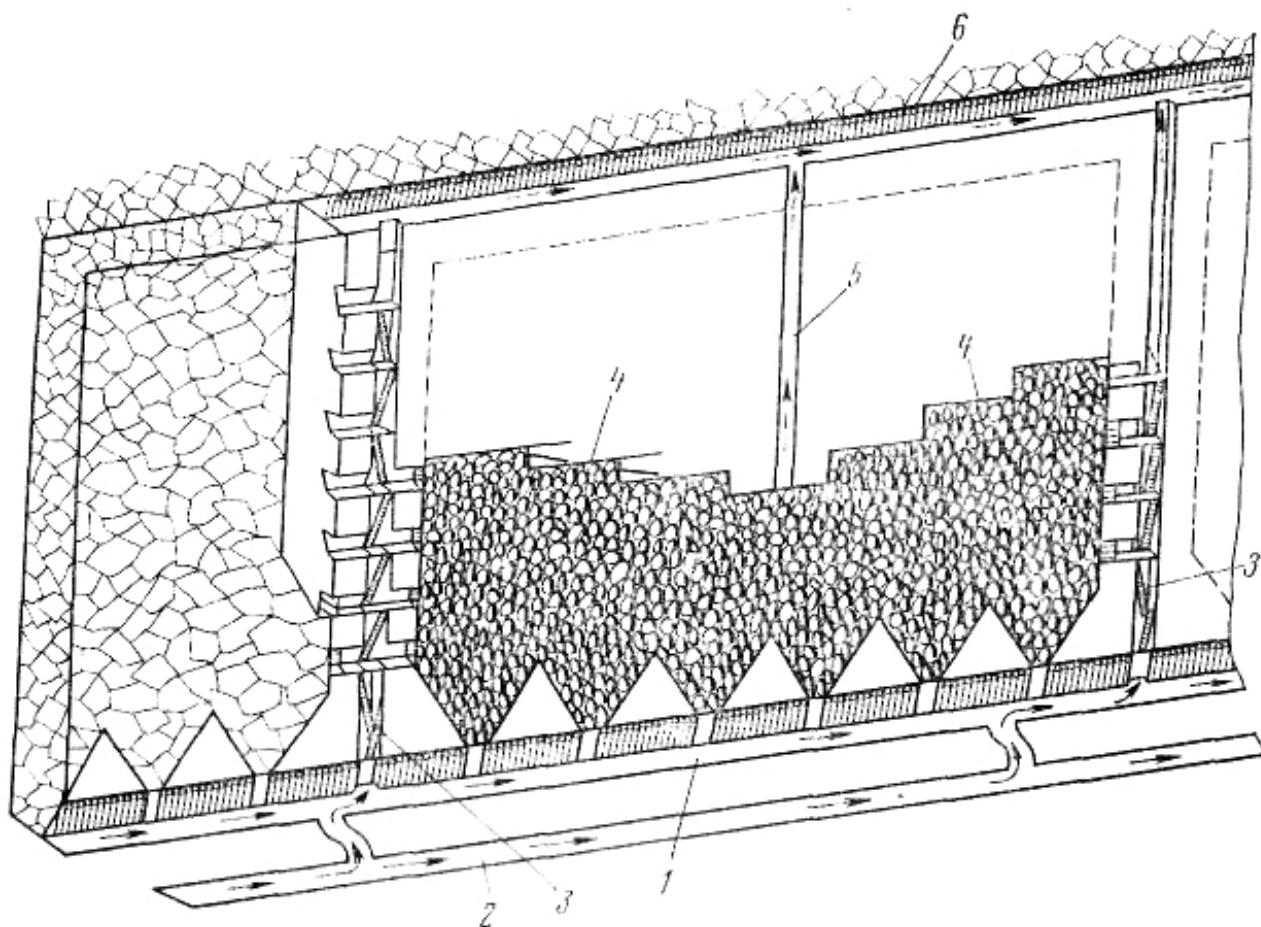


Рис. 4.35. Схема вентиляции очистного блока при магазинировании руды:  
1 – рудный откаточный штрек; 2 – полевой откаточный штрек; 3 – восстающий; 4 – очистной забой; 5 – вентиляционный восстающий; 6 – вентиляционный штрек

При искусственном поддержании очистного пространства с использованием закладки воздухоподающие выработки располагаются в закладочном материале в количестве, обеспечивающем интенсивную вентиляцию очистного пространства. Вентиляция очистной панели в случае слоевой выемки руды снизу вверх с использованием твердеющей закладки и самоходных машин осуществляется по схеме (рис. 4.37), при которой воздух с откаточного горизонта подается в камеру по восстающим, диагональному уклону и слоевым ортам. Исходящая струя отводится на вентиляционно-закладочный горизонт по восстающему. В случае выемки руды горизонтальными и наклонными слоями с использованием закладки схемы вентиляции аналогичны схемам вентиляции при магазинировании руды.

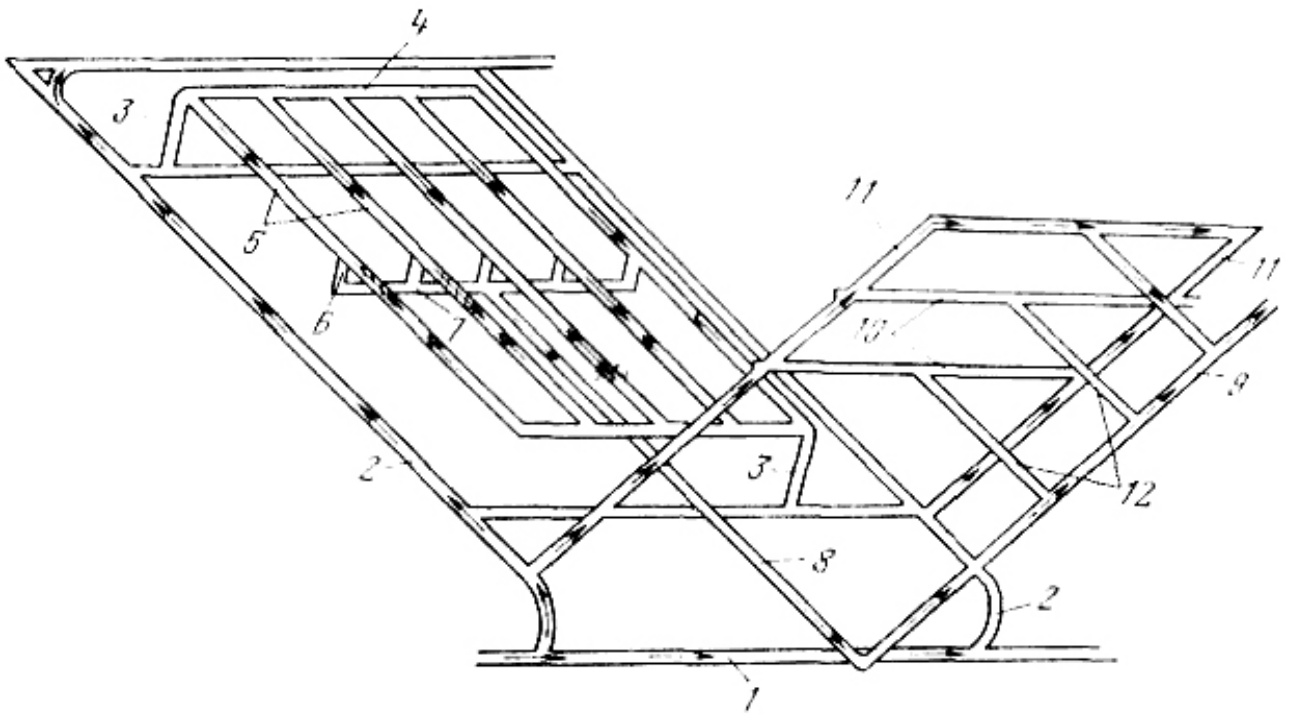


Рис. 4.36. Схема вентиляции блока при этажном самообрушении:

1 – откаточный штрек; 2 – орты-заезды; 3 – диагональные восстающие; 4 – штрек; 5 – орты скреперования; 6 – вентиляционный восстающий; 7 – сборный штрек; 8 – вентиляционный орт; 9 – вентиляционный восстающий; 10 – штреки; 11 – восстающие; 12 – орты

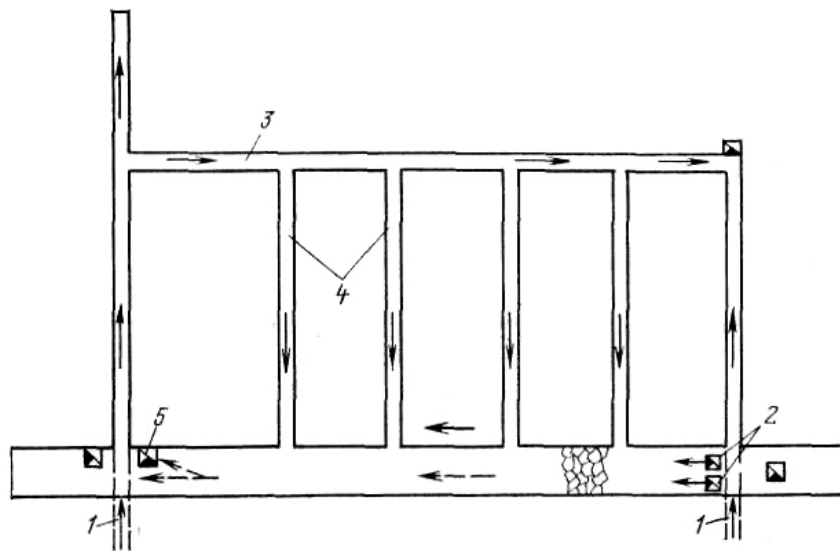


Рис. 4.37. Схема вентиляции очистной панели при слоевой выемке руды с использованием твердеющей закладки: 1 – откаточный горизонт; 2 – восстающие; 3 – диагональный уклон; 4 – слоевые орты; 5 – вентиляционный восстающий

Проветривание выработок при использовании крепления выработанного пространства и последующего обрушения в ряде случаев затруднительно из-за наличия тупиковых выработок (при слоевом обрушении), что вызывает необходимость применения вентиляторов местного проветривания.

## **РАЗДЕЛ 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ**

### **5.1. Общие сведения**

Проветривание строящихся, реконструируемых и действующих шахт должно осуществляться по проекту вентиляции, являющегося составной частью проекта шахты.

На действующих шахтах дополнительно к проекту вентиляции должны производиться расчеты расхода воздуха, необходимого для проветривания горных выработок и шахты в целом, выбор способов и средств проветривания тупиковых выработок, а также разрабатываться мероприятия по управлению метановыделением средствами вентиляции.

Проект вентиляции на период строительства новой, реконструкции или подготовки горизонтов действующей шахты разрабатывается проектными институтами, проектными конторами, группами шахтостроительных комбинатов (трестов) и производственных объединений. В подготовке исходных данных и выдаче рекомендаций по отдельным вопросам при разработке проектов участвуют геологоразведочные организации, шахты, научно-исследовательские институты и государственная военизированная горноспасательная служба (ГВГСС).

Проектирование вентиляции шахты осуществляется в тесной увязке с решением вопросов вскрытия и подготовки шахтного поля, выбора системы разработки, построения календарного плана отработки пластов, технологии подготовительных, очистных работ и транспорта грузов.

Проект вентиляции шахты разрабатывается в соответствии с руководствами [6, 29] и правилами безопасности [4, 9].

### **5.2. Порядок проектирования вентиляции шахт**

Проект вентиляции новой шахты разрабатывается на первый период ее эксплуатации (15-20 лет), а действующей – на оставшийся срок службы, если он не превышает указанные пределы. И в том, и в другом случае выбирается наиболее характерный этап развития шахты (освоение проектной мощности, ввод нового горизонта, блока, максимальное развитие горных работ), для которого календарный план отработки пластов должен быть составлен по годам.

Для принятых в проекте порядка отработки пластов, технологий очистных и подготовительных работ, рассчитанных скоростей подвигания очистных и тупиковых забоев по ведущим технологическим процессам определяют ожидаемую газообильность горных выработок.

Затем обосновывают схему проветривания выемочного участка и производят проверку нагрузки на очистной забой по газовому фактору. Если первоначально была принята схема проветривания участка с последовательным разбавлением метана по источникам его поступления (тип 1-В или 1-М) и нагрузка на очистной забой по газовому фактору оказалась меньше, чем расчетная по другим ограничивающим факторам (например, скорости подачи комбайна), то

необходимо выяснить возможность применения схем с полным или частично обособленным разбавлением метана (схемы типа 3-В и 2-В).

При невозможности применения таких схем по причине, например, трудности поддержания горных выработок в выработанном пространстве или нецелесообразности изменения схемы вскрытия и подготовки действующей шахты в проекте должна быть предусмотрена дегазация источников метановыделения.

При пересмотре схемы проветривания выемочного участка делают корректировку прогноза метанообильности. В этом случае, а также при применении дегазации, повторно проверяют нагрузку на очистной забой по газу и окончательно принимают минимальную из рассчитанных по различным факторам.

На следующем этапе для принятых в проекте схем вскрытия и подготовки шахтного поля, разработанного календарного плана отработки пластов на конкретный год эксплуатации шахты конструируют схему вентиляции шахты и выбирают способ проветривания. Затем определяют расходы воздуха по каждому потребителю и шахте в целом, рассчитывают подачи и депрессии главных вентиляторных установок. При проектировании новой шахты производят выбор вентиляторов главного проветривания, а для действующей шахты – проверку эксплуатируемых вентиляторов.

Исходными данными для проектирования вентиляции угольных шахт являются данные, предоставляемые геологоразведочными организациями. К ним относятся:

- данные о природной метаноносности угольных пластов и вмещающих пород в пределах полей проектируемых шахт;

- схемы и карты опробования рабочих пластов с прогнозом газоносности и нанесением верхних границ зоны метановых газов, геологических нарушений, изогипс почвы или кровли пластов, геологоразведочных скважин (с указанием их номеров, отметок устьев и пересечений пластов, мощности и структуры пластов), линий геологических разрезов и, если возможно, изогаз; при отсутствии изогаз указывается природная метаноносность в м<sup>3</sup>/т с.б.м. по скважинам газового опробования;

- результаты технического анализа угольных пластов и пропластков, массовый и объемный выход летучих веществ, логарифм удельного электросопротивления антрацитов, пластовую влагу, зольность угля и генетическую классификацию углей в процентах;

- схематические геологические разрезы с нанесением верхних границ зоны метановых газов и, если возможно, изогаз;

- геологические разрезы скважин по форме, принятой в данном бассейне или районе, с обязательным нанесением всех пластов и пропластков угля и углистого сланца, с указанием их мощности, расстояний между ними, структуры вмещающих пород и коэффициента крепости пород по шкале проф. Протодяконова;

- данные об обводненности пересекаемых породных и угольных пластов;

- данные о геотермических условиях пересекаемых породных и угольных пластов;

- константу, характеризующую химическую активность угля по отношению к кислороду воздуха; группы угольных пластов, склонных к самовозгоранию и опасных по внезапным выбросам;

- процентное содержание в угле компонентов группы фюзинита.

Кроме того, для проектирования необходимо иметь данные о последовательности отработки пластов, системе разработки и ее основных параметрах, в том числе: о порядке отработки выемочных полей (прямое, обратное); количестве подэтажей в этаже (при разработке пласта по простиранию); длине и скорости подвигания очистных и тупиковых забоев (стволов, уклонов, штреков и т.д.); способе выемки угля в очистных и тупиковых забоях; величине заходки при проведении тупиковых выработок, продолжительности времени, прошедшего от отбойки до выдачи угля из участка, шахты; эксплуатационных потерях угля; способах управления кровлей; способах поддержания вентиляционных выработок на выемочных участках; способах проведения тупиковых выработок (одинарными или параллельными забоями, широким ходом, проходке стволов бурением и т.д.); размерах тупиковых выработок (в свету, вчерне); ширине целиков между параллельными тупиковыми выработками; подработке (надработке) пласта; длине очистного забоя, который подработал или надработал пласт.

### 5.3. Прогноз метанообильности горных выработок

Ожидаемая метанообильность горных выработок для вновь проектируемых и новых горизонтов действующих шахт определяется по метаноносности угольных пластов и вмещающих пород, а для действующих шахт – по фактической метанообильности выработок – аналога данного шахтопласта.

Для негазовых шахт дается прогноз углекислотообильности горных выработок в соответствии с методикой, изложенной в работах [6, 5, 3].

Ниже приводится упрощенная методика проектирования вентиляции угольных шахт применительно к Донецкому и Львовско-Волинскому бассейнам.

#### 5.3.1. Метанообильность выемочных участков

Относительная метанообильность выемочного участка  $q_{уч}$ , ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) определяется как сумма метановыделений из разрабатываемого пласта  $q_{пл}$  ( $\text{м}^3/\text{т}$ ), сближенных угольных пластов и пропластов  $q_{сн}$  ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) и вмещающих пород  $q_{пор}$

$$q_{уч} = q_{пл} + q_{сн} + q_{пор}, \quad (5.3.1)$$

#### *Метановыделение из разрабатываемого пласта*

Относительное метановыделение из разрабатываемого пласта рассчитывается по формуле

$$q_{пл} = K_{пл}(x - x_1) + K_{э.п}(x - x_0), \quad (5.3.2)$$

где  $K_{пл}$  – коэффициент, учитывающий влияние системы разработки на метановыделение из пласта;  $x$  – природная метаноносность пласта,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $x_1$  – остаточная метаноносность угля, выдаваемого за пределы выемочного участка,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;

$K_{э.п}$  – коэффициент, учитывающий метановыделение из эксплуатационных потерь угля в пределах выемочного участка, доли единицы;  $x_0$  – остаточная метаноносность угля, оставляемого в выработанном пространстве в целиках, невынимаемых пачках и т.д., м<sup>3</sup>/т.

Если имеются данные геологической разведки о природной метаноносности пласта  $x_2$ , м<sup>3</sup>/т сухой беззольной массы (м<sup>3</sup>/т с.б.м) и остаточной метаноносности углей  $x_{0.2}$  (м<sup>3</sup>/т с.б.м), то их пересчет на  $x$  и  $x_0$  ведут по формулам

$$x = 0,01x_2(100 - W - A_3), \quad (5.3.3)$$

$$x_0 = 0,01x_{0.2}(100 - W - A_3), \quad (5.3.4)$$

где  $W$  – пластовая влажность угля, %,  $A_3$  – зольность угля, %.

При отсутствии данных о природной метаноносности пласта ее рассчитывают по методике МакНИИ.

Значения  $x_{0.2}$  в зависимости от выхода летучих веществ  $V^e$  даны в табл. 5.3.1

Таблица 5.3.1

Значения остаточной метаноносности углей в зависимости от выхода летучих веществ

Выход летучих веществ $V^e$ , %	2-8	8-12	12-18	18-26	26-35	35-42	42-50
$x_{0.2}$ , м <sup>3</sup> /т с.б.м	12,1-5,3	5,3-4,1	4,1-3,2	3,2-2,6	2,6-2,2	2,2-1,9	1,9-1,7

Коэффициент  $K_{нл}$  определяется для каждого выемочного столба по формуле

$$k_{нл} = \frac{L_{оч} \pm 2v_{3.д}}{L_{оч}}, \quad (5.3.5)$$

где  $L_{оч}$  – длина очистного забоя, м;  $v_{3.д}$  – ширина условного пояса газового дренирования пласта, м, принимается по табл. 5.3.2.

Таблица 5.3.2

Значения ширины условного пояса газового дренирования пласта

Время с момента окончания проведения подготовительных выработок до начала очистной выемки, сут.	Значения $v_{3.д}$ для углей с выходом летучих веществ, %					
	до 8	8-12	12-18	18-26	26-35	более 35
50	5,5	7,5	10,0	12,5	10,0	7,5
100	7,0	10,0	12,5	16,0	12,5	10,0
150	7,5	10,5	13,5	17,5	13,5	10,5
200 и более	8,0	11,0	14,0	18,0	14,0	11,0

В формуле (5.3.5) знак «плюс» принимается, когда пласт с обеих сторон лавы не отработан или оставлены целики угля шириной более  $2v_{3.д}$ , а знак «минус» – при столбовой системе разработки и если пласт с обеих сторон лавы отработан. При сплошной системе разработки, когда вышележащая лава отработана, а также при комбинированной системе, когда один штрек пройден, а дру-



гой проходится вслед за лавой,  $K_{nl} = 1$ .

Если по формуле (5.3.5) получается  $K_{nl} < 0,5$ , то к расчету принимается  $K_{nl} = 0,5$ .

Коэффициент  $K_{э.п.}$ , учитывающий метановыделение из оставляемых в выработанном пространстве за лавой целиков и невынимаемых пачек угля определяется по формуле

$$K_{э.п.} = \frac{\sum (e_{ц} - e_{з.д})}{L_{оч}} + \frac{m_n - m_в}{m_в}, \quad (5.3.6)$$

где  $e_{ц}$  – ширина охранного целика, м, при  $e_{ц} < e_{з.д}$  первое слагаемое формулы (5.3.6) принимается равным нулю;  $m_n$  – полная мощность угольных пачек разрабатываемого пласта, м;  $m_в$  – вынимаемая полезная мощность пласта, м.

Остаточная метаноносность  $x_1$  принимается равной  $1,25 x_0$ .

Если планируемый к отработке пласт до его разработки был подработан, надработан или заблаговременно дегазирован, то в формулу (5.3.1) вместо  $x$  подставляется остаточная метаноносность  $x'$ , величина которой рассчитывается по формуле (5.3.12)

### **Метановыделение из сближенных пластов и пропластков**

Относительное метановыделение из нескольких подрабатываемых и надрабатываемых сближенных пластов (спутников) суммируется

$$q_{с.п.} = \sum_{i=1}^{n_1} q_{сн.п_i} + \sum_{i=1}^{n_2} q_{сн.п_i}, \quad \text{м}^3/\text{т}. \quad (5.3.7)$$

Относительное метановыделение как из подрабатываемого  $q_{сн.п_i}$ , так и надрабатываемого  $q_{сн.п_i}$  определяется по формуле

$$q_{сн_i} = 1,14 \cdot V_{оч}^{-0,4} \cdot \frac{m_{сн_i}}{m_в} (x_{сн_i} - x_{0_i}) \left( 1 - \frac{M_{сн_i}}{M_p} \right), \quad \text{м}^3/\text{т}, \quad (5.3.8)$$

где  $V_{оч}$  – скорость подвигания очистного забоя, м/сут; принимается из раздела проекта «Технология очистных работ», а по пластам, где принята нормативная или фактическая (по данным шахты) нагрузка на очистной забой, значение рассчитывается из формулы (5.3.25). При отработке крутых пластов щитовыми агрегатами типа АЩ, АНЩ  $V_{оч}$  определяется как отношение ширины выемочного столба к времени его отработки;  $m_{сн_i}$  – суммарная мощность угольных пачек  $i$ -го сближенного пласта, м;  $m_в$  – вынимаемая полезная мощность разрабатываемого пласта, м;  $x_{сн_i}$  и  $x_{0_i}$  – соответственно природная и остаточная метаноносность  $i$ -го сближенного пласта, м<sup>3</sup>/т; при отсутствии данных их можно принять равными метаноносности ближайшего рабочего пласта;  $M_{сн.i}$  – расстояние по нормали между разрабатываемым и смежным пластами, м;  $M_p$  – расстояние по нормали между разрабатываемым и смежным пластами, при котором метановыделение из последнего равно нулю, м.

При надработке пологих и наклонных угольных пластов значение  $M_p$

принимается равным 60 м.

При подработке пологих и наклонных пластов  $M_p$  определяется по формуле

$$M_p = 1,3L_{оч}k_{у.к} \left( \frac{\cos \alpha_{нл}}{k_l} + 0,05 \right) \sqrt{m_{в.нр}} \quad (5.3.9)$$

где  $k_{у.к}$  – коэффициент, учитывающий влияние способа управления кровлей; принимается: при полном обрушении – 1,0; при частичной закладке, плавном опускании и удержании на кострах – 0,8; при полной закладке – 0,4;  $L_{оч}$  – длина очистного забоя, м; при  $L_{оч}$  более 220м в формулу (5.3.9) следует подставлять  $L_{оч} = 220$ м;  $m_{в.нр}$  – вынимаемая мощность пласта с учетом породных прослоек, м;  $\alpha_{нл}$  – угол падения пласта, градус;  $k_l$  – коэффициент, учитывающий степень метаморфизма угля; принимается по табл. 5.3.3.

Таблица 5.3.3

Значение коэффициента, учитывающего степень метаморфизма угля

$V^e, \%$	2-8	8-12	12-18	18-26	26-35	>35
$k_l$	1,8-1,6	1,6-1,5	1,5-1,35	1,35-1,20	1,20-1,00	0,90

Для условий подработки и надработки крутых пластов  $M_p$  определяется соответственно по формулам:

$$M_p = k_{у.к}m_{в.нр}(1,2 + \cos \alpha_{нл}) \quad (5.3.10)$$

$$M_p = k_{у.к}m_{в.нр}(1,2 - \cos \alpha_{нл}) \quad (5.3.11)$$

Коэффициент  $k_{у.к}$  в формулах (5.3.10) и (5.3.11) принимается: при полном обрушении – 60, при частичной закладке, плавном опускании и удержании на кострах – 45; при полной закладке – 25.

Результаты расчетов  $q_{сн}$  сводят в табл. 5.3.4, суммируя отдельно метановыделение из подрабатываемых  $q_{сн.н}$  и надрабатываемых  $q_{сн.н}$  смежных пластов.

Таблица 5.3.4

Результаты расчета метановыделения из сближенных пластов и пропластков

Индекс сближенного пласта	$m_{снi}$ , м	$m_{в}$ , м	$x_{снi}$ , м <sup>3</sup> /т	$x_{o.i}$ , м <sup>3</sup> /т	$M_{сн.i}$ , м	$M_p$ , м	$q_{снi}$ , м <sup>3</sup> /т
Подрабатываемые пласты							
$\sum q_{сн.н}$							
Надрабатываемые пласты							
$\sum q_{сн.н}$							
$q_{сн}$							

Если некоторые пласты свиты были ранее полностью отработаны или производилась их заблаговременная дегазация, то при расчете метановыделе-

ния из остальных рабочих и нерабочих пластов свит, расположенных на расстоянии меньшем  $M_p$ , в формулы (5.3.2), (5.3.8) и (5.3.13) вместо  $x$  и  $x_{cn.i}$  следует подставлять остаточную метаноносность пласта  $x'$ , рассчитанную по формуле

$$x' = x_o + \left[ x(1 - k_g) - x_o \right] \frac{M_{cn.i}}{M_p}, \quad (5.3.12)$$

где  $k_g$  – коэффициент дегазации, доли единицы; принимается согласно разд. 6 или руководству [29].

Если окажется, что  $x' \leq x_o$ , то метан из пласта не выделяется.

### **Метановыделение из вмещающих пород**

Относительное метановыделение из вмещающих пород определяется по формуле

$$q_{пор} = 1,14V_{оч}^{-0,4}(x - x_o)k_n(H - H_0), \quad (5.3.13)$$

где  $H$  – глубина разработки, м;  $H_0$  – глубина верхней границы зоны метановых газов, м; принимается по табл. 5.3.5;  $k_n$  – коэффициент, учитывающий влияние способа управления кровлей; принимается равным: 0,0011 – при полном обрушении; 0,0008 – при частичной закладке, удержании кровли на кострах или плавном опускании; 0,0004 – при полной закладке.

Если  $H - H_0 \leq 225$  м, то в формуле (5.3.13) сомножитель  $(H - H_0)$  не учитывается, а значения  $k_n$  принимаются: при полном обрушении – 0,25; частичной закладке – 0,20 и полной закладке – 0,10.

Таблица 5.3.5

Значения глубины верхней границы зоны метановых газов

Район Донбасса	Глубина верхней границы метановых газов $H_0$ , м
Алмазно-Марьевский	250
Должанско-Садкинский	400
Донецко-Макеевский:	
северная часть	100 - 200
северо-западная часть	400 - 500
центральная часть	50 - 100
южная часть	100 - 150
Красноармейский	300
Лисичанский	300
Сорокинский	150 - 250
Селезневский	250
Успенско-Родаковский	100 - 200
Хрустальский	50 - 300
Чистяковский	50 - 200

### 5.3.2. Метанообильность очистных выработок

В общем случае метановыделение в очистной выработке складывается из метановыделения из разрабатываемого пласта и выработанного пространства  $q_{в.н}$  (м<sup>3</sup>/т) и рассчитывается по формуле

$$q_{оч} = k_{о.у}k_{нл}(x - x_1) + k_{в.н}q_{в.н}, \quad (5.3.14)$$

где  $k_{о.у}$  – коэффициент, учитывающий влияние схемы проветривания выемочного участка на поступление метана в очистной забой из отбитого угля. При схемах проветривания с последовательным и частичным разбавлением метана по источникам выделения, когда уголь транспортируется по свежей струе, которая затем поступает в лаву,  $k_{о.у} = 1,0$ , а для схем проветривания с полным обособленным разбавлением вредностей (тип 3) и иных схем, когда транспорт угля осуществляется по выработке с исходящей струей  $k_{о.у} = 0,85$ ;  $k_{в.н}$  – коэффициент, учитывающий метановыделение из выработанного пространства в призабойное.

Коэффициент  $k_{в.н}$  зависит от схемы проветривания выемочного участка, средневзвешенного расстояния до сближенных пластов  $\bar{M}_{сн}$ , вынимаемой мощности пласта  $m_{в.пр}$  и способа поддержания в выработанном пространстве вентиляционной выработки, служащей для отвода исходящей струи.

Для схем проветривания выемочных участков с выдачей исходящей струи на массив угля типа 1-М коэффициент  $k_{в.н} = 1$ .

Для схем проветривания с выдачей исходящей струи на выработанное пространство типа 1-В, 2-В и 3-В, если вентиляционная выработка поддерживается кострами, бутокострами, бутовой полосой с окнами (каналами) или сплошной бутовой полосой шириной  $b_n$  до 5м, то коэффициент  $k_{в.н} = 0$ .

Если для поддержания вентиляционной выработки выкладывается сплошная бутовая полоса шириной более 5 м, то значения  $k_{в.н}$  принимаются согласно табл. 5.3.6.

Таблица 5.3.6

Значения коэффициента, учитывающего метановыделение из выработанного пространства в призабойное

$\frac{\bar{M}_{сн}}{m_{в.пр}}$	Значения $k_{в.н}$ при ширине бутовой полосы $b_n$ , м					
	6	7	9	12	16	более 16
до 10	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,0
11-30	0,17	0,24	0,33	0,55	0,84	1,0
31 - 50	0,08	0,12	0,20	0,40	0,77	1,0
Более 50	0,04	0,06	0,13	0,3	0,72	1,0

При отработке тонких крутых пластов щитовыми агрегатами коэффициент  $k_{в.н} = 0,8$ .

Средневзвешенное расстояние до сближенных пластов рассчитывается по формуле

$$\bar{M}_{cn} = \frac{\sum m_{cn.i} M_{cn.i} \left(1 - \frac{M_{cn.i}}{M_p}\right)}{\sum m_{cn.i} \left(1 - \frac{M_{cn.i}}{M_p}\right)}. \quad (5.3.15)$$

Условные обозначения те же, что и в формуле (5.3.8).

Относительное метановыделение из выработанного пространства в пределах выемочного участка

$$q_{в.н} = q_{cn} + q_{нор} + k_{э.н}(x - x_0). \quad (5.3.16)$$

### 5.3.3. Метанообильность тупиковых выработок

Абсолютное метановыделение тупиковой выработки  $I_n$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) определяется по формуле

$$I_n = I_{з.н} + I_{нов}, \quad (5.3.17)$$

где  $I_{з.н}$  – метановыделение в призабойное пространство выработки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $I_{нов}$  – метановыделение с обнаженной поверхности пласта (стенок выработки) за пределами призабойного пространства выработки,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

В свою очередь  $I_{з.н}$  включает метановыделение из обнаженной поверхности пласта на длине призабойного пространства  $I_{нов.нр}$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) и из отбитого угля  $I_{о.у}$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ )

$$I_{з.н} = I_{нов.нр} + I_{о.у}. \quad (5.3.18)$$

Длина призабойного пространства принимается  $l_{нр} = 20\text{м}$  при нагнетательном способе проветривания выработки и  $50\text{м}$  при комбайновом способе проходки с применением автономных пылеулавливающих установок (нагнетательно-всасывающем способе проветривания).

Метановыделение  $I_{нов.нр}$  и  $I_{нов}$  рассчитывается по формуле

$$I_{нов} = 3,5 \cdot 10^{-5} m_n V_n (x - x_0) k_T, \quad (5.3.19)$$

где  $m_n$  – полная мощность угольных пачек пласта, м;  $V_n$  – проектная скорость подвигания забоя, м/сут;  $k_T$  – коэффициент, учитывающий изменение метановыделения во времени.

Коэффициент  $k_T$  зависит от времени  $T_{нр}$  (сут.), прошедшего от начала проведения выработки до момента определения  $I_{нов.нр}$  или  $I_{нов}$ , и принимается

равным  $\sqrt{T_{нр}}$  при времени проведения до 120 суток и  $k_T = 11$  при  $T_{нр} > 120$  сут. При расчете  $I_{нов.нр}$  время проведения участка выработки рассчитывается как частное от деления длины призабойного участка на скорость проведения выработки  $T_{нр} = l_{нр} / V_n$ , а при расчете  $I_{нов}$  для выработки в целом

$$T_{нр} = \frac{l_n - l_{нр}}{V_n}, \quad (5.3.20)$$

где  $l_n$  – длина тупиковой выработки, м.

Метановыделение из отбитого угля  $I_{o,y}$  (м<sup>3</sup>/с) при проведении выработок комбайнами, выбуриванием или отбойными молотками определяется по формуле

$$I_{o,y} = 1,67 \cdot 10^{-2} (x - x_0) j k_{my}, \quad (5.3.21)$$

где  $j$  – техническая производительность комбайна, бурового станка или суммарная производительность проходчиков, т/мин; принимается равной 1,2 т/мин для комбайна 4ПУ; 1,8 – ГПКС; 1,5 – 4ПП-2; 1,0 – 4ПП-5; 2,4 – ПК-25 и 1,6 – для 1ПК-ЗР;  $k_{my}$  – коэффициент, учитывающий степень дегазации отбитого угля и зависящий от времени нахождения его в призабойном пространстве  $T_y$  (мин); принимается по табл. 5.3.7.

Значение  $T_y$  рассчитывается по формуле

$$T_y = \frac{S_{y2} l_u \rho}{j}, \quad (5.3.22)$$

где  $S_{y2}$  – площадь сечения выработки в проходке по углю, м<sup>2</sup>;  $l_u$  – продвижение забоя за цикл непрерывной работы комбайна, м, принимается равным расстоянию между рамами крепи, но не менее 1,0 м;  $\rho$  – плотность угля т/м<sup>3</sup>.

Таблица 5.3.7

$T_y$ , мин	1	2	3	4	5	6	6
$k_{my}$	0,06	0,09	0,12	0,14	0,16	0,17	$0,1154 \sqrt{T_y}$

При проведении выработки буровзрывным способом рассчитывается максимальное метановыделение в призабойное пространство из отбитого угля и обнаженной поверхности пласта по формуле

$$I_{з.н. max} = 8,3 \cdot 10^{-4} S_{y2} l_{вз} \rho (x - x_0), \quad (5.3.23)$$

где  $l_{вз}$  – продвижение забоя за взрывание, м.

Если до начала проведения выработки пласт, по которому она проводится, был подработан или заблаговременно дегазирован, то при определении ожидаемого метановыделения в формулы (5.3.19), (5.3.21) и (5.3.23) вместо  $x$  подставляется остаточная метаноносность  $x^1$ , рассчитанная по формуле (5.3.12).

### 5.3.4. Результаты прогноза метанообильности горных выработок

Результаты расчетов ожидаемого метановыделения выемочных участков, очистных забоев и тупиковых выработок для принятых в проекте к отработке шахтопластов сводятся в табл. 5.3.8.

Таблица 5.3.8

Результаты расчетов ожидаемого метановыделения

Символ пласта	$q_{пл}$ , м <sup>3</sup> /т	$q_{сп.п}$ , м <sup>3</sup> /т	$q_{сп.н}$ , м <sup>3</sup> /т	$q_{сп}$ , м <sup>3</sup> /т	$q_{пор}$ , м <sup>3</sup> /т	$q_{в.н}$ , м <sup>3</sup> /т	$q_{оч}$ , м <sup>3</sup> /т	$q_{уч}$ , м <sup>3</sup> /т	$I_{з.н}$ , м <sup>3</sup> /с	$I_n$ , м <sup>3</sup> /с

Категория шахты в проекте определяется по наибольшей метанообильно-

сти выемочных участков, если она не меньше установленной для действующей шахты. В противном случае принимается фактическая категория шахты по метану.

При выборе схемы проветривания выемочного участка, проверке ее на опасность местных скоплений метана, решении вопросов дегазации, расчете расхода воздуха на проветривание очистного забоя или участка необходимо знать абсолютное метановыделение из различных источников или на объекте в целом.

Пересчет относительной метанообильности  $q$  ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) в абсолютную  $I$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) производят по формуле

$$I = \frac{qA_p}{86400}, \quad (5.3.24)$$

где  $q$  – относительная метанообильность очистного забоя ( $q_{оч}$ ), выемочного участка ( $q_{уч}$ ) или отдельных источников ( $q_{пл}, q_{сп}, q_{пор}, q_{в.н}$ ),  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $A_p$  – расчетная нагрузка на очистной забой при скорости его подвигания  $V_{оч}$  ( $\text{м}/\text{сут}$ ), принятой при прогнозе метанообильности,  $\text{т}/\text{сут}$ .

$$A_p = L_{оч} m \rho V_{оч} k_u, \quad (5.3.25)$$

где  $L_{оч}$  – длина очистной выработки,  $\text{м}$ ;  $\rho$  – плотность угля,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;  $k_u$  – коэффициент извлечения угля, доли единицы; принимается согласно проекту, а при отсутствии данных – равным 0,98.

Результаты расчетов абсолютной метанообильности представляют по форме табл. 5.3.8, заменяя в названиях столбцов  $q$  ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) на  $I$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

#### 5.4. Выбор схемы проветривания выемочного участка

Согласно руководству [6] схемы проветривания выемочных участков классифицируют по признакам, приведенным в табл. 5.4.1.

Таблица 5.4.1

Классификационный признак	Варианты признака	Условные обозначения
Степень обособленности разбавления вредностей по источникам поступления	Последовательное	1
	Частичное	2
	Полное	3
Направление выдачи исходящей из лавы струи воздуха	На выработанное пространство	В
	На массив угля	М
	Комбинированное	К
Зависимое или независимое проветривание очистных выработок	Независимое	Н
	Зависимое	З
Направление движения воздуха по очистному забою	Восходящее	в
	Нисходящее	н
	Горизонтальное	г
Взаимное направление свежей и исходящей струй	Возвратноточное	вт
	Прямоточное	пт

Основные варианты схем проветривания выемочных участков представлены на рис. 5.4.1.

Схемы проветривания типа 1-М и 1-В могут применяться при условии, когда нагрузка на очистной забой не ограничивается газовым фактором, а также на негазоносных пластах на глубинах, где температура горных пород не превышает 30°C. В других условиях следует применять схемы типа 3-В или 2-В. Схемы с частично обособленным разбавлением вредностей типа 2-М допускается применять только в негазовых шахтах.

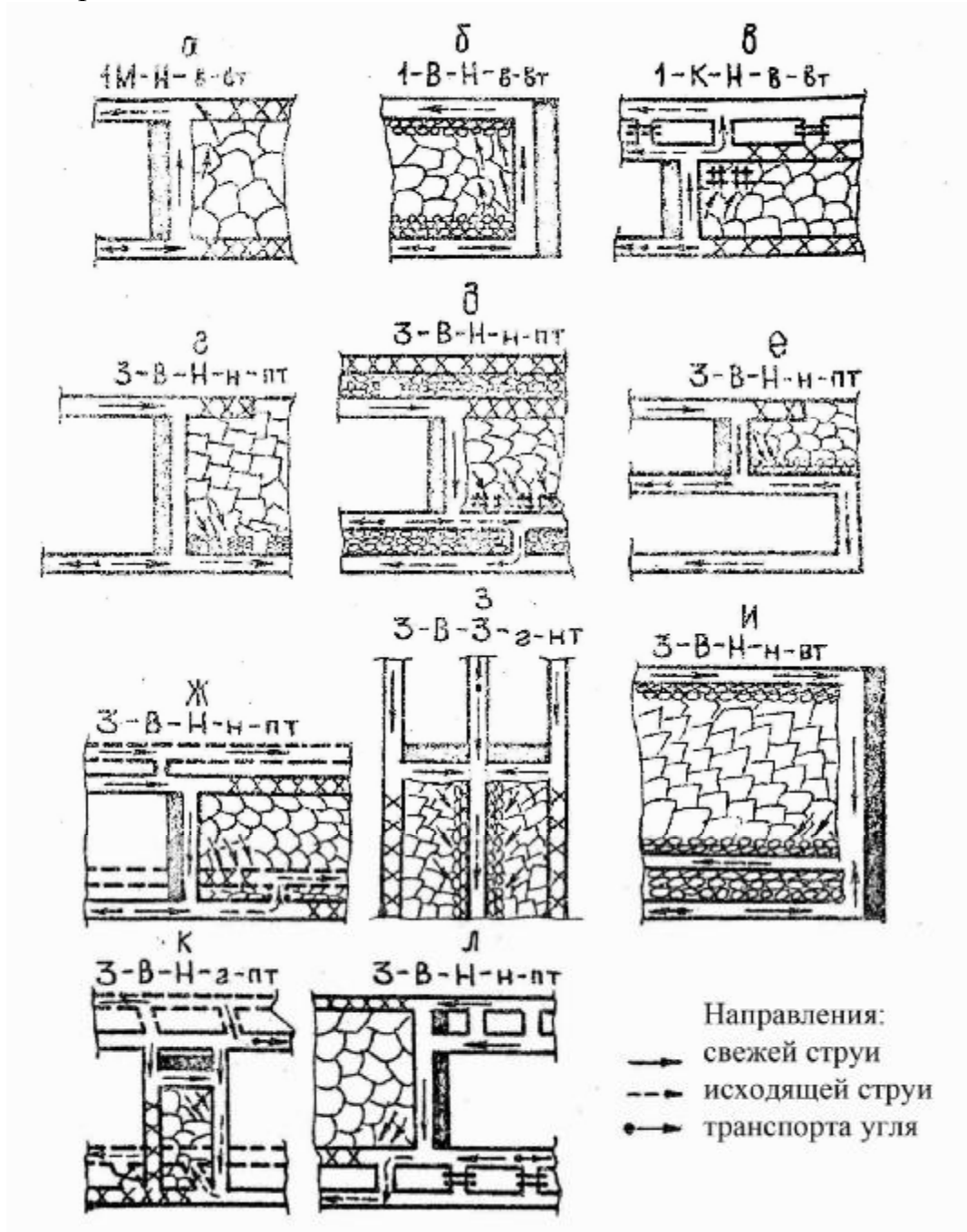


Рис. 5.4.1. Основные варианты схем проветривания выемочных участков

При отработке пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа либо по внезапным прорывам газа, должны применяться схемы проветривания типа 3-В или 2-В (например, рис. 5.4.1г), обеспечивающие подачу свежего воздуха к



очистному забою по двум выработкам.

При отработке склонных к самовозгоранию пластов следует применять схемы, обеспечивающие минимальную ширину активно проветриваемой зоны выработанного пространства. Этому требованию в наибольшей степени удовлетворяет схема типа 1-М, которую рекомендуется применять при газообильности выемочного участка до  $0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ .

На участках с большей газообильностью необходимо применять схемы типа 3-В либо 2-В при тщательной изоляции выработанного пространства. Если эти схемы не могут быть применены, то допускается использование схемы типа 1-М при условии отвода метана из выработанного пространства за пределы выемочного участка по трубопроводу с помощью газоотсасывающего вентилятора (эжектора) или дегазации возможных источников метана.

Подробные указания по выбору схем проветривания выемочных и вентиляционных участков (панелей, выемочных полей, крыльев) изложены в нормативных документах [6, 5], а также в руководстве [6].

Схемы проветривания выемочных участков типа 1-М должны проверяться по опасности местных скоплений метана на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой с исходящей струей (в погашаемом тупике выработки), а схемы типа 1-В, 1-К, 2-В и 3-В – по опасности местных скоплений метана в рабочем пространстве лавы у бутовых полос и в выработанном пространстве на расстоянии до 10 м от лавы.

Эти проверки выполняются после расчетов нагрузки на лаву по газовому фактору (пункт. 5.5) и определения расхода воздуха в очистной выработке согласно пункту 5.8.2.

При схемах проветривания выемочных участков типа 1-М возможность образования местных скоплений метана с концентрацией выше нормы на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой (в тупике погашения) исключается, если выполняется соотношение

$$\frac{185I_{г.н}\sqrt{S}}{Q_{оч}^{1,5}(k_{ум.в}-1)^{1,5}} < 1 \quad (5.4.1)$$

где  $I_{г.н}$  – метановыделение из выработанного пространства,  $\text{м}^3/\text{с}$ ; определяется по формуле (5.3.24);  $S$  – проектная площадь поперечного сечения вентиляционной выработки в свету,  $\text{м}^2$ ;  $Q_{оч}$  – расчетный расход воздуха в очистной выработке,  $\text{м}^3/\text{с}$ ; определяется в соответствии с п. 5.8.2;  $k_{ум.в}$  – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство; определяется согласно указаниям пункта 5.5.

Если условие (5.4.1) не выполняется, то следует выяснить возможность применения схем типа 2-В или 3-В, после чего произвести проверку новой схемы по опасности местных скоплений метана. При невозможности изменения схемы необходимо предусмотреть дегазацию сближенных пластов и вмещающих пород либо отвод метана из погашаемых тупиков за пределы выемочного участка по трубопроводам с помощью газоотсасывающих вентиляторов и эжекторов (при газообильности выработанного пространства  $I_{г.н}$  более  $0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ ) или за счет общешахтной депрессии по неподдерживаемым выработкам (при  $I_{г.н}$  до

0,07 м<sup>3</sup>/с), отвод метана в выработку участка с исходящей струей по коротким трубопроводам с помощью пневматических вентиляторов и эжекторов (при  $I_{e,n}$  от 0,025 до 0,07 м<sup>3</sup>/с) или с помощью специальных установок УСМ-02, УСМ-04 (при  $I_{e,n}$  до 0,025 м<sup>3</sup>/с).

При схемах проветривания выемочных участков типа 1-В, 2-В, 3-В опасное скопление метана в выработанном пространстве на расстоянии до 10 м от очистной выработки исключается, если

$$\frac{17I_{e,n}}{Q_{oc}(k_{ym,e} - 1)} \leq 1 \quad (5.4.2)$$

Если условие (5.4.2) не выполняется, то необходимо предусмотреть дегазацию сближенных пластов и вмещающих, пород.

При схемах проветривания выемочных участков типа 1-В, 1-К, 2-В и 3-В опасность местных скоплений метана на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой исключается, если последняя поддерживается бутовой полосой шириной до 5 м или неплотными устройствами (костры, бутокостры, плиты БЖБТ, бутовые полосы с каналами) и скорость движения в вентиляционной выработке более 1 м/с.

При наличии вдоль вентиляционной выработки сплошной бутовой полосы шириной более 5 м возможность образования опасных скоплений метана исключается, если

$$\frac{113I_{e,n}k_{e,n}}{Q_{oc}(k_{ym,e} - 1)k_{ym,n}} \leq 1 \quad (5.4.3)$$

где  $k_{ym,n}$  – коэффициент, учитывающий поступления (притечки) воздуха из выработанного пространства в призабойное; принимается в зависимости от ширины сплошной бутовой полосы  $e_n$  (м) по табл.5.4.2.

Если условие (5.4.3) не выполняется, то следует предусмотреть дегазацию сближенных пластов и вмещающих пород, отвод метана из выработанного пространства в вентиляционную выработку с помощью оставляемых в бутовой полосе каналов или отвод метана за пределы выемочных участков по трубопроводам с помощью газоотсасывающих вентиляторов и эжекторов (рекомендуется при  $I_{e,n}$  более 0,07 м<sup>3</sup>/с).

Таблица 5.4.2

$e_n$ , м	6	7	9	12	16	Более 16
$k_{ym,n}$	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0

Изолированный отвод метана из выработанном пространстве применяется, как правило, когда вентиляция и дегазация не могут обеспечить норму содержания метана.

Если выбранная схема проветривания выемочного участка отличается от принятой схемы при прогнозе метанообильности горных выработок, то необходимо скорректировать расчеты ожидаемого газовыделения и повторить при необходимости проверки выполнения условий (5.4.1) или (5.4.2) и (5.4.3).

## 5.5. Расчет максимально допустимой нагрузки на очистную выработку по газовому фактору

Максимально допустимая нагрузка на лаву  $A_{max}$  (т/сут) по газовому фактору определяется по формуле

$$A_{max} = 19,5 \cdot 10^3 \cdot q_p^{-1,67} A_p^{-0,67} [S_{оч.p} V_{max} (c - c_0)]^{1,93}, \quad (5.5.1)$$

где  $q_p$  – относительная метанообильность очистной выработки ( $q_{оч}$ ) или выемочного участка ( $q_{уч}$ ), м<sup>3</sup>/т; принимается по табл. 5.5.1;  $A_p$  – расчетная нагрузка на очистной забой при скорости его подвигания, принятой при прогнозе метанообильности т/сут; определяется по формуле (5.3.25);  $S_{оч.p}$  – расчетная площадь поперечного сечения призабойного пространства очистной выработки, м<sup>2</sup>; определяется по табл. 5.5.1;  $V_{max}$  – максимально допустимая ПБ скорость движения воздуха в очистной выработке, м/с;  $c$  – предельно допустимая концентрация метана в исходящей вентиляционной струе, % (по объему);  $c_0$  – концентрация метана в поступающей на выемочный участок вентиляционной струе, %; принимается при обособленном проветривании выемочного участка равной 0,05 %.

Таблица 5.5.1

Значения расчетной площади поперечного сечения призабойного пространства очистной выработки

Тип схемы проветривания выемочного участка	Значения	
	$S_{оч.p}$	$q_p$
1-М	$S_{оч.min} \cdot k_{ум.в}$	$q_{уч}$
1-В при $q_{уч}/q_{оч} \leq k_{ум.в}$	$S_{оч.min} \cdot k_{о.з}$	$q_{оч}$
1-В при $q_{уч}/q_{оч} > k_{ум.в}$	$S_{оч.min} \cdot k_{ум.в}$	$q_{уч}$
2-В и 3-В	$S_{оч.min} \cdot k_{о.з}$	$q_{оч}$

В табл. 5.5.1 приняты следующие обозначения:  $S_{оч.min}$  – минимальная площадь поперечного сечения очистной выработки в свету, м<sup>2</sup>; при механизированных крепях принимается согласно табл. 5.5.2, а при индивидуальной крепи рассчитывается по формуле

$$S_{оч.min} = k_3 m_{в.нр} b_{min}, \quad (5.5.2)$$

где  $k_3$  – коэффициент, учитывающий загроможденность призабойного пространства; принимается равным 0,9;  $b_{min}$  – минимальная ширина призабойного пространства, м;  $k_{о.з}$  – коэффициент, учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства, непосредственно прилегающей к призабойному; принимается по табл. 5.5.3, а при отработке крутых пластов щитовыми агрегатами типа АЩ, АНЩ  $k_{о.з} = 1,15$ ;  $k_{ум.в}$  – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство.

Значение  $k_{ум.в}$  при отработке пологих и наклонных пластов и управлении кровлей полным обрушением и плавным опусканием для схем типа 1-М находится по формуле (5.5.3), для остальных схем – по формуле (5.5.4), а при отработке тонких крутых пластов по табл. 5.5.4.

Таблица 5.5.2

Значения минимальной площади поперечного сечения очистной выработки в свету при механизированных крепях

Тип крепи (комплекса агрегата)	Вынимаемая мощность пласта, м	Площадь сечения в свету, м <sup>2</sup>	Удельное сопротивление $r_{100}$ , Н·с <sup>2</sup> /м <sup>8</sup>
АКЗ	1,6 - 2,5	3,6 - 5,6	0,60 - 0,20
АНЩ	0,7 - 1,3	1,0 - 2,3	1,20 - 0,45
2 АНЩ	1,1 - 2,2	1,6 - 3,3	0,60 - 0,12
1 АЦМ	1,2 - 2,2	1,8 - 3,2	0,70 - 0,20
«Донбасс» М	0,8 - 1,2	1,5 - 2,5	2,70 - 0,80
КГУ	0,7 - 1,2	1,2 - 3,2	6,80 - 0,36
КД 80	0,9 - 1,2	1,7 - 2,4	3,00 - 0,70
КМ 81	2,0 - 3,2	3,5 - 6,3	0,45 - 0,08
КМ 87	1,2 - 1,9	2,3 - 4,6	1,50 - 0,30
КМ 88	1,0 - 1,3	2,3 - 2,7	1,10 - 0,70
КМ 97Д	0,7 - 1,3	1,5 - 3,4	0,80 - 0,25
1 КМ 103	0,7 - 0,9	1,4 - 1,9	3,60 - 1,70
КМ 130	2,4 - 3,2	4,7 - 8,2	0,45 - 0,09
КМ 137	0,8 - 1,1	1,6 - 3,4	3,00 - 0,39
КМ 138	1,4 - 2,2	2,9 - 5,1	0,60 - 0,14
1 КМТ	1,1 - 1,5	2,4 - 3,3	1,20 - 0,40
МК 75	1,6 - 2,2	2,8 - 3,9	0,67 - 0,23
1 МКМ	1,4 - 1,7	2,8 - 3,8	1,80 - 0,30
2 МКЭ	1,6 - 2,2	2,7 - 4,4	0,80 - 0,20
1 ОКП, 2 ОКП	1,9 - 3,0	2,7 - 5,4	0,7 - 0,30
3 ОКП	2,5 - 3,3	3,1 - 5,8	0,52 - 0,10
ОКП 70	1,9 - 3,5	3,1 - 6,5	0,45 - 0,07
2 ОКП 70	2,3 - 3,3	4,8 - 6,4	0,30 - 0,07
1 УКП	1,3 - 2,5	2,0 - 4,5	1,20 - 0,30
2 УКП	2,4 - 4,0	4,0 - 8,0	1,70 - 0,03

$$k_{\text{ум.в}} = 1 + 0,13 \cdot m_{\text{в.нр}} \exp(0,35\bar{f} - 0,25S_{\text{оч.мин}}), \quad (5.5.3)$$

$$k_{\text{ум.в}} = 1 + 0,5 \cdot m_{\text{в.нр}} \exp(0,24\bar{f} - 0,45S_{\text{оч.мин}}), \quad (5.5.4)$$

где  $m_{\text{в.нр}}$  – вынимаемая мощность пласта с учетом породных прослоек, м;  $\bar{f}$  – средневзвешенная крепость толщи пород кровли на расстоянии от вынимаемого пласта, равном 8-кратной его мощности:

$$\bar{f} = \frac{\sum m_i f_i}{\sum m_i}, \quad (5.5.5)$$

где  $m_i$  и  $f_i$  – соответственно мощность и крепость по шкале проф. Протодяконова  $i$ -го слоя пород непосредственной кровли; эти данные берутся из геологи-

ческих отчетов, а при их отсутствии ориентировочно можно принимать:  $\bar{f} = 1$  для весьма неустойчивой кровли;  $\bar{f} = 3$  для неустойчивой кровли;  $\bar{f} = 4$  для кровли малой устойчивости;  $\bar{f} = 6$  для кровли средней устойчивости;  $\bar{f} = 8$  для устойчивой кровли.

Таблица 5.5.3

Значения  $k_{ум.в}$  при отработке пологих и наклонных пластов и управлении кровлей полным обрушением

Способ управления кровлей	Порода непосредственной кровли	$k_{о.з}$
Полное обрушение	Песчаники	1,30
Полное обрушение	Песчанистые сланцы	1,25
Полное обрушение	Глинистые сланцы	1,20
Полное обрушение	Сыпучие	1,05
Плавное опускание	Глинистые сланцы	1,15
Частичная закладка	Глинистые сланцы	1,10
Полная закладка	Глинистые сланцы	1,05

**Примечание:** при мощности пласта и площади сечения, неуказанных в таблице, сечение в свету и  $r_{100}$  определяется интерполяцией

Таблица 5.5.4

Значения  $k_{ум.в}$  при отработке тонких крутых пластов

Классификационный признак схемы проветривания выемочного участка	Значения $k_{ум.в}$ в зависимости от способа управления и пород кровли							
	Полное обрушение			Частичная закладка			Плавное опускание	
	глин. слан.	песч. слан.	песч.	глин. слан.	песч. слан.	песч.	глин. слан.	известняки
1-В-Н-вт; 1-В-3-вт	1,40	1,55	1,70	1,20	1,25	1,40	1,25	1,50
1-В-Н-пт; 1-В-3-пт	1,30	1,40	1,55	1,20	1,25	1,35	1,20	1,50
1-М-Н-вт; 1-М-3-вт	1,25	1,30	1,40	1,10	1,15	1,25	1,20	1,35
2-В-Н-вт; 2-В-3-вт 3-В-Н-вт; 3-В-3-вт	1,55	1,70	1,80	1,20	1,25	1,40	1,25	1,50
1-М-Н-пт; 2-М-Н-пт	1,30	1,35	1,45	1,20	1,25	1,30	1,20	1,50
2-М-Н-пт; 2-М-3-пт	1,50	1,55	1,65	1,20	1,25	1,35	1,25	1,50
2-М-Н-вт; 2-М-3-вт	1,50	1,65	1,80	1,20	1,25	1,35	1,25	1,50
3-В-Н-пт; 3-В-3-пт 2-В-Н-пт4 2-В-3-пт	1,50	1,60	1,70	1,20	1,25	1,35	1,25	1,50

**Примечание.** При отработке тонких крутых пластов щитовыми агрегатами типа АНЩ, АЩМ  $k_{ум.в}$  принимается равным 1,75 при  $f \leq 4$  и 2,0 при  $f > 4$ .

При отработке пологих и наклонных пластов и управлении кровлей частичной закладкой коэффициент утечек обозначается  $k_{ум.в.з}$  и рассчитывается из выражения  $k_{ум.в.з} = 0,5 \cdot (1 + k_{ум.в})$ , в котором  $k_{ум.в}$  определяется по формулам (5.5.3), (5.5.4).

Если максимально допустимая нагрузка на лаву окажется меньше технически возможной (например, по скорости подачи комбайна, крепления лавы, пропускной способности транспортных средств и т.д.), то пересматривается схема проветривания участка с корректировкой прогноза метанообильности или предусматривается дегазация источников метана, после чего снова определяют  $A_{max}$  по формуле (5.5.1) и окончательно принимается минимальная из рассчитанных по всем факторам.

Результаты расчетов допустимой нагрузки на лаву по газовому фактору обобщают по форме табл. 5.5.5.

Таблица 5.5.5

Результаты расчетов допустимой нагрузки на лаву по газовому фактору

Символ пласта	Тип схемы проветривания	$S_{оч. min},$ $M^2$	$q_p,$ $M^3/T$	Нагрузка на лаву, т/сут.	
				По газовому фактору	Принятая

## 5.6. Дегазация горных выработок

### 5.6.1. Условия применения дегазации

Основанием для проведения дегазации является ограничение нагрузки на очистную выработку по газовому фактору, опасность местных скоплений метана на выемочном участке, невозможность разбавления метана средствами вентиляции до регламентированных ПБ норм, а также во всех случаях, когда возможна утилизация извлекаемого метана.

Эффективность дегазации  $i$ -го источника метановыделения оценивается коэффициентом дегазации  $k_{\partial}$  (доли единицы)

$$k_{\partial i} = \frac{I_i - I'_i}{I_i} \quad \text{или} \quad k_{\partial i} = \frac{q_i - q'_i}{q_i}, \quad (5.6.1)$$

где  $I_i$  и  $I'_i$  – абсолютное метановыделение в выработку соответственно без дегазации и при ее применении,  $M^3/с$ ;  $q_i$  и  $q'_i$  – относительное метановыделение до и после дегазации,  $M^3/T$ .

Коэффициент дегазации источника при последовательном применении нескольких способов его дегазации составит

$$k_{\partial} = k_{\partial_1} + (1 - k_{\partial_2}) \cdot k_{\partial_2} + (1 - k_{\partial_1}) \cdot (1 - k_{\partial_2}) \cdot k_{\partial_2} \dots \quad (5.6.2)$$

Суммарное значение коэффициента дегазации нескольких источников метановыделения на выемочном участке рассчитывается с учетом долевого участия каждого источника в газовом балансе участка

$$k_{\partial} = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{I} \cdot k_{\partial_i} \quad (5.6.3)$$

Необходимое значение  $k'_{\partial}$  для очистного забоя, выемочного участка, подготовительной выработки или ее дегазируемой части составляет

$$k'_d = 1 - \frac{I_{np}}{I \cdot k_n}, \quad (5.6.4)$$

где  $I_{np}$  – предельное метановыделение в выработку, которое может быть разбавлено средствами вентиляции (без дегазации) до допустимой ПБ нормы, м<sup>3</sup>/с;  $k_n$  – коэффициент неравномерности газовыделения; для очистной выработки и выемочного участка рассчитывается по формуле (5.6.5), а для тупиковой выработки принимается равным 1,0.

$$k_n = 1,1 \cdot I^{-0,14}. \quad (5.6.5)$$

При схемах проветривания выемочных участков типа 1-М и 1-В предельное метановыделение определяется для выемочного участка в  $I_{np.уч}$  целом (м<sup>3</sup>/с) по формуле

$$I_{np.уч} = 0,007 \cdot S_{оч.min} V_{max} k_{ум.в} (c - c_0), \quad (5.6.6)$$

а при схемах типа 3-В, 2-В предельное метановыделение может ограничиваться метановыделением в очистную выработку и рассчитывается по формуле

$$I_{np.оч} = 0,01 \cdot S_{оч.min} V_{max} k_{o.з} (c - c_0). \quad (5.6.7)$$

Обозначения входящих в формулы (5.6.6) и (5.6.7) параметров те же, что и в разд. 5.5.

Предельное метановыделение в тупиковую подготовительную выработку  $I_{np.n}$  (м<sup>3</sup>/с)

$$I_{np.n} = 0,01 \cdot Q \cdot (c - c_0), \quad (5.6.8)$$

где  $Q$  – расход воздуха в призабойном пространстве тупиковой выработки, м<sup>3</sup>/с; для современных вентиляторов местного проветривания можно принять равным 10 м<sup>3</sup>/с.

Если при расчете нагрузки на лаву по газовому фактору возникает необходимость применения дегазации, то при схемах проветривания выемочных участков типа 3-В, 2-В следует предусматривать дегазацию только разрабатываемого пласта. При схемах проветривания типа 1-М, 1-В может возникнуть необходимость дегазации нескольких источников метановыделения. В таком случае, в первую очередь дегазируют источник с преобладающим метановыделением, а при равном долевом участии различных источников в газовом балансе участка следует предусматривать такую очередность их дегазации или последовательность включения в комплексную дегазацию:

- смежные пласты подрабатываемые;
- смежные пласты надрабатываемые;
- выработанное пространство;
- разрабатываемый пласт.

Если дегазация не приводит к необходимому снижению метановыделения на участке, следует предусматривать изолированный отвод метана за пределы выемочного участка с помощью газоотсасывающих установок.

### 5.6.2. Способы и эффективность дегазации

Способы дегазации, технология, организация и безопасность ведения дегазационных работ, а также указания по проектированию дегазационных систем приведены в руководстве [29].

В табл. 5.6.1 перечислены основные способы дегазации и даны ориентировочные значения коэффициентов дегазации. Следует указать, что дегазация разрабатываемых пластов и выработанного пространства скважинами, пробуренными с поверхности, рекомендуется применять на глубинах разработки до 600 м, если условия на поверхности позволяют разместить буровое и дегазационное оборудование с учетом экологических факторов.

Таблица 5.6.1

Способы дегазации и значения коэффициентов дегазации

Объекты дегазации	Способ дегазации	Коэффициент дегазации
Тупиковые выработки	1. Предварительная дегазация угольного массива пластовыми скважинами: – без гидроразрыва; – с гидроразрывом.	0,2 – 0,3 0,3 – 0,4
	2. Дегазация барьерными скважинами	0,1 – 0,2
Разрабатываемый пласт	1. Восстающими или горизонтальными пластовыми скважинами: – без гидроразрыва; – в сочетании со скважинами гидроразрыва.	0,2 – 0,3 0,3 – 0,4
	2. Нисходящими скважинами: – без гидроразрыва; – в сочетании со скважинами гидроразрыва.	0,1 – 0,2 0,3 – 0,4
	3. Развернутыми на забой восстающими скважинами	0,3 – 0,4
	4. Перекрещивающимися скважинами	0,3 – 0,4
Выработанное пространство	1. Скважинами, пробуренными из выработки с исходящей струей над куполами обрушений	0,3 – 0,4
	2. Отвод метана через перфорированные отрезки труб по газопроводу, оставляемому в завале	0,3
	3. Вертикальными скважинами, пробуренными с дневной поверхности	0,4 – 0,6
	4. Изолированный отвод метана по трубопроводу с помощью газоотсасывающей установки при схемах: – типа 1-М – типа 1-В –	0,6 – 0,8 0,3 – 0,4



Продолжение таблицы 5.6.1		
Объекты дегазации	Способ дегазации	Коэффициент дегазации
Сближенные угольные пласты и вмещающие породы	1. Пологие и наклонные подрабатываемые пласты	
	1.1. Скважинами, пробуренными впереди очистного забоя из выработки, погашаемой за лавой:	0,3
	– скважины пробурены навстречу очистному забою;	
	– скважины пробурены параллельно очистному забою с выкладкой под ними охранных полос.	0,5
	1.2. Скважинами, пробуренными из выработки, поддерживаемой за лавой	0,5 – 0,6
	1.3. Скважинами, пробуренными параллельно очистному забою выработки, отделенной от участка целиком угля:	0,6
	– скважины пробурены над выработкой с исходящей струей;	
	– то же, но с поступающей струей.	0,5
	2. Пологие и наклонные надрабатываемые пласты	
	2.1. Скважинами, пробуренными из выработки:	0,3
– погашаемой за лавой;		
– поддерживаемой за лавой;		
– пройденной по надрабатываемому пласту.	0,4	
	0,5	
3. Крутые надрабатываемые и подрабатываемые пласты		
3.1. Скважинами, пробуренными из выработки:	0,2 – 0,3	
– разрабатываемого пласта;		
– соседнего пласта или из полевой выработки;		
– пройденной по дегазируемому пласту	0,5	
3.2. Скважинами, пробуренными веером из промежуточного квершлага	0,7	
	0,5	

### 5.6.3. Газообильность выработок с дегазацией

В общем случае абсолютное или относительное метановыделение источника в выработки после дегазации рассчитывается по формулам

$$I' = I(1 - k_g) \quad \text{или} \quad q' = q(1 - k_g) \quad (5.6.9)$$

С учетом расчетных формул для прогноза газообильности (5.3.1), (5.3.2), (5.3.7), (5.3.14), (5.3.16), результатов прогноза (табл. 5.3.8) и значений коэффи-

циентов дегазации для принятых в проекте способов дегазации разрабатываемого пласта ( $k_{\Delta.nl}$ ), смежных подрабатываемых пластов ( $k_{\Delta.cn.n}$ ), надрабатываемых пластов ( $k_{\Delta.cn.n}$ ) и пород ( $k_{\Delta.nop}$ ) относительная метанообильность выработанного пространства  $q'_{в.н}$  очистной выработки  $q'_{оч}$  и выемочного участка  $q'_{уч}$  составят

$$q'_{в.н} = q_{cn.n}(1 - k_{\Delta.cn.n}) + q_{cn.n}(1 - k_{\Delta.cn.n}) + q_{nop}(1 - k_{\Delta.nop}) + k_{э.н}(x - x_0)(1 - k_{\Delta.nl}). \quad (5.6.10)$$

Если применяется только изолированный отвод метана за пределы выемочного участка с помощью газоотсасывающей установки, то

$$q'_{в.н} = q_{в.н}(1 - k_{\Delta.в.н}); \quad (5.6.11)$$

$$q'_{оч} = k_{о.у}k_{nl}(x - x_1)(1 - k_{\Delta.nl}) + k_{в.н}q'_{в.н}; \quad (5.6.12)$$

$$q'_{уч} = q_{nl}(1 - k_{\Delta.nl}) + q_{cn.n}(1 - k_{\Delta.cn.n}) + q_{cn.n}(1 - k_{\Delta.cn.n}) + q_{nop}(1 - k_{\Delta.nop}). \quad (5.6.13)$$

Пересчет относительной метанообильности выработок после дегазации  $q'$  ( $m^3/t$ ) в абсолютную  $\Gamma$  ( $m^3/c$ ) ведут по формуле (5.3.24), а итоговые результаты сводят по форме табл. 5.6.2

Таблица 5.6.2

Символ пласта	Разрабатываемый пласт			Смежные пласты					
				Подрабатываемые			Надрабатываемые		
	$q_{nl}$	$q'_{nl}$	$k_{\Delta.nl}$	$q_{cn.n}$	$q'_{cn.n}$	$k_{\Delta.cn.n}$	$q_{cn.n}$	$q'_{cn.n}$	$k_{\Delta.cn.n}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Окончание табл. 5.6.2

Выработанное пространство			Очистной забой			Выемочный участок		
$q_{в.н}$	$q'_{в.н}$	$k_{\Delta.в.н}$	$q_{оч}$	$q'_{оч}$	$\Gamma_{оч}$	$q_{уч}$	$q'_{уч}$	$\Gamma_{уч}$
11	12	13	14	15	16	17	18	19

## 5.7. Выбор способа и схемы проветривания шахты

Для действующих шахт следует принимать существующий способ проветривания.

В проектах новых опасных по газу шахт в качестве основного способа проветривания рекомендуется всасывающий.

Нагнетательный способ проветривания можно применять на негазовых и газовых шахтах I и II категории при отработке первого горизонта, а также при фланговых схемах проветривания шахт, имеющих аэродинамическую связь горных выработок и выработанных пространств с поверхностью.

При проектировании новых шахт следует, как правило, отказываться от установки вентиляторов главного проветривания у скиповых стволов.

При больших размерах шахтного поля по простиранию и разработке газоносных, склонных к самовозгоранию угольных пластов в качестве основной

схемы проветривания рекомендуется фланговая. Центральная схема проветривания может применяться при длине шахтного поля, как правило, до 2 км, метанообильности шахты до 15 м<sup>3</sup>/т и производственной мощности не более 2000 т/сут.

Комбинированная схема проветривания рекомендуется при проектировании вентиляции реконструируемых шахт.

Секционная схема проветривания рекомендуется при блоковой отработке шахтного поля в условиях глубоких газообильных шахт с большой производственной мощностью и значительными размерами шахтного поля.

При проектировании схемы вентиляции следует обеспечить требования ПБ в части устройства вентиляционных сооружений, обособленного проветривания каждой очистной и тупиковой выработок, зарядных камер, складов ВМ, оборудованных ленточными конвейерами главных наклонных транспортных выработок или использование последних для отвода исходящей вентиляционной струи.

Схема вентиляции составляется по шахте в целом на определенный год эксплуатации и выполняется на чертеже в соответствии с инструкцией ПБ [5] по составлению вентиляционных планов. На схеме вентиляции должны быть показаны все действующие и погашаемые выемочные участки, проводимые тупиковые выработки, обособленно проветриваемые камеры, поддерживаемые для технологических нужд выработки, водяные (сланцевые) заслоны, вентиляторы главного проветривания с указанием их типа, подачи и депрессии, вентиляторы местного проветривания (ВМП), калориферные установки, вентиляционные сооружения, а также направление движения воздуха во всех выработках шахты.

## 5.8. Расчет расхода воздуха для проветривания шахты

### 5.8.1. Расход воздуха для шахты в целом

Общий расход воздуха для шахты определяется как сумма расходов на обособленно проветриваемые объекты с учетом внутришахтных утечек воздуха

$$Q_{ш} = 1,1(\sum Q_{уч} + \sum Q_{н.в} + \sum Q_{ног.в} + \sum Q_{под.в} + \sum Q_k + \sum Q_{ут}), \quad (5.8.1)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий отклонение фактического распределения воздуха по сети горных выработок от расчетного;  $\sum Q_{уч}$  – расход воздуха для проветривания выемочных участков, м<sup>3</sup>/с;  $\sum Q_{н.в}$  – расход воздуха, подаваемого к всасам ВМП для обособленного проветривания тупиковых выработок, м<sup>3</sup>/с;  $\sum Q_{ног.в}$  – расход воздуха для обособленного проветривания погашаемых выработок, м<sup>3</sup>/с;  $\sum Q_{под.в}$  – расход воздуха для обособленного проветривания поддерживаемых выработок, м<sup>3</sup>/с;  $\sum Q_k$  – расход воздуха для обособленного проветривания камер, м<sup>3</sup>/с;  $\sum Q_{ут}$  – утечки воздуха через вентиляционные сооружения, расположенные за пределами выемочных участков, м<sup>3</sup>/с.

При наличии на шахте нескольких вентиляторных установок по формуле (5.8.1) определяется расход воздуха для отдельных вентиляционных участков

или групп выработок (крыла, шахтопласта, выемочного поля), проветриваемых отдельными вентиляторами, а затем полученные результаты суммируются. Расчет расхода воздуха необходимо производить с учетом снижения метановыделения выработок при применении дегазации.

### 5.8.2. Расход воздуха для очистных выработок

Расход воздуха для очистных выработок рассчитывается по выделению метана (углекислого газа), газов, образующихся при взрывных работах, по числу людей, а при выемке каменных углей с присечкой боковых пород и антрацитов – из условий оптимальной по пылевому фактору скорости движения воздуха. Окончательно принимается максимальный из рассчитанных, который затем проверяется по допустимой ПБ скорости движения воздуха.

1) Расход воздуха по выделению метана (углекислого газа)

При нагрузке на лаву, принятой по газовому фактору, расход воздуха  $Q_{оч.1}$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ )

$$Q_{оч.1} = V_{max} S_{оч.min} k_{o.з} \quad (5.8.2)$$

Если нагрузка на лаву принята по другим ограничивающим факторам (например, по скорости подачи комбайна)

$$Q_{оч.1} = \frac{100 I_{оч} k_n}{c - c_0} \quad (5.8.3)$$

Коэффициент  $k_{o.з}$  принимается по таблице 5.3, а при отработке крутых пластов щитовыми агрегатами типа АНЩ – равным 1,15;  $S_{оч.min}$  – по таблице 5.5.2 или рассчитывается по формуле (5.5.2); коэффициент  $k_n$  для метана определяется по формуле (5.6.5), а при расчете по углекислому газу принимается равным 1,6 для Донецкого и Львовско-Волынского и 2,3 для Приднепровского бурогоугольного бассейнов; концентрация углекислого газа  $c_0$  принимается равной 0,03 об. %.

2) По газам, образующимся при взрывных работах

$$Q_{оч.2} = \frac{34}{T} \sqrt{B_{yz} \cdot V} \quad (5.8.4)$$

где  $T$  – время вентиляции выработки после взрывных работ, с ( $T \leq 1800$  с);  $B_{yz}$  – масса одновременно взрывающихся ВВ по углю, кг;  $V_{оч}$  – проветриваемый объем очистной выработки,  $\text{м}^3$ :

$$V_{оч} = m_{в.пр} b_{max} L_{оч} \quad (5.8.5)$$

$b_{max}$  – максимальная ширина призабойного пространства, м.

3) По людям

$$Q_{оч.3} = 0,1 \cdot n_{чел} \quad (5.8.6)$$

где  $n_{чел}$  – наибольшее число людей, одновременно работающих в очистной выработке.

4) По пылевому фактору

$$Q_{оч.4} = V_{онм} S_{оч.min} k_{o.з} \quad (5.8.7)$$

где  $V_{opt}$  – оптимальная скорость движения воздуха в призабойном пространстве лавы, м/с; принимается равной 1,6 м/с.

Окончательно принимаем максимальный расход воздуха  $Q_{оч}$  из рассчитанных по п.1) - 4).

Полученный расход проверяется по условию обеспечения минимально допустимой  $V_{min}$  (м/с) и непревышения максимально допустимой  $V_{max}$  (м/с) скоростей движения воздуха, регламентированных ПБ, по соотношениям

$$\frac{Q_{оч}}{S_{оч.max} k_{о.з}} \geq V_{min} ; \quad (5.8.8)$$

$$\frac{Q_{оч}}{S_{оч.min} k_{о.з}} \leq V_{max} . \quad (5.8.9)$$

Эти проверки не производятся, если принятое  $Q_{оч}$  получено по формулам (5.8.2) или (5.8.7).

Расход воздуха для проветривания резервных лав определяется как и для действующих.

### 5.8.3. Расход воздуха для выемочных участков

При схемах проветривания типа 1–В и условии

$$\frac{I_{уч}}{I_{оч}} \leq \frac{k_{ум.в}}{k_{о.з}} \quad (5.8.10)$$

расход воздуха определяется по формуле

$$Q_{уч} = \frac{Q_{оч} k_{ум.в}}{k_{о.з}} . \quad (5.8.11)$$

Если для схем типа 1–В условие (5.8.10) не выполняется, а также для всех других схем проветривания расход воздуха определяется по формуле

$$Q_{уч} = \frac{100 I_{уч} k_n}{c - c_o} . \quad (5.8.12)$$

Расход воздуха, посчитанный по формуле (5.8.12), для всех схем проветривания должен удовлетворять условию  $Q_{уч} \geq Q_{оч}$  а для схем проветривания типа 1–М и 1–В и условию (5.8.13)

$$Q_{уч} \leq V_{max} S_{оч.min} k_{ум.в} . \quad (5.8.13)$$

Расход воздуха, необходимый для подсыживания исходящей из выемочного участка вентиляционной струи  $Q_{дон}$  (м<sup>3</sup>/с) при схемах проветривания типа 2–В и 3–В определяется по формуле

$$Q_{дон} = Q'_{уч} - Q_{оч} k_{ум.в} , \quad (5.8.14)$$

причем  $Q_{дон}$  должен удовлетворять условию

$$Q_{дон} \geq S \cdot V_{min} . \quad (5.8.15)$$

В соотношении (5.8.15) площадь сечения  $S$  (м<sup>2</sup>) и минимально допустимая ПБ скорость движения воздуха  $V_{min}$  (м/с) относятся к выработке с подсыживающей струей.

#### 5.8.4. Расход воздуха для тупиковых выработок

Расход воздуха для обособленно проветриваемых тупиковых выработок рассчитывается по выделению метана (углекислого газа), по газам, образующимся при взрывных работах (ВР), по средней минимальной скорости движения воздуха в выработке и тепловому фактору. Окончательно принимается наибольший результат.

1) По выделению метана (углекислого газа)

При выемке угля проходческими комбайнами, отбойными молотками или выбуриванием пласта расход воздуха для проветривания призабойного пространства тупиковой выработки  $Q_{з.н.1}$  (м<sup>3</sup>/с) определяется по формуле

$$Q_{з.н.1} = \frac{100I_{з.н}}{c - c_0} \quad (5.8.16)$$

Значение  $I_{з.н}$  (м<sup>3</sup>/с) принимается по результатам прогноза метановыделения по формуле (5.3.18), а  $c_0 = 0,05\%$ .

При взрывном способе отбойки угля в пластовых тупиковых выработках

$$Q_{з.н.1} = \frac{S \cdot l_{з.мп}}{k_{м.д}} \left[ \frac{550I_{з.н.макс}}{S \cdot l_{з.мп} \cdot (c_{макс} - c_0) + 1080I_{з.н.макс}} \right]^2, \quad (5.8.17)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки в свету, м<sup>2</sup>;  $l_{з.мп}$  – расстояние от конца вентиляционного трубопровода до забоя выработки;  $m$ ; принимается равным 8 м;  $k_{м.д}$  – коэффициент турбулентной диффузии; принимается равным 1,0 при  $S \leq 10$  м<sup>2</sup> и 0,8 при большем сечении выработки;  $c_{макс}$  – допустимая концентрация метана в призабойном пространстве, % принимается равной 2 %;  $I_{з.н.макс}$  – максимальное метановыделение в призабойном пространстве после взрывания по углю, м<sup>3</sup>/с; определяется по формуле (5.3.23).

Расход воздуха по газовыделению для проветривания всей тупиковой выработки  $Q_n$  (м<sup>3</sup>/с) при любом способе ее проведения

$$Q_n = \frac{100I_n k_n}{c - c_0}, \quad (5.8.18)$$

где  $I_n$  – выделение метана (определяется по формуле (5.3.17) или углекислого газа в тупиковой выработке, м<sup>3</sup>/с;  $k_n$  – коэффициент неравномерности газовыделения; принимается равным 1,0, а при расчете по углекислому газу в условиях Днепровского бурогоугольного бассейна – 2,4 для выработок, проводимых в угольном массиве, и 3,3 – для выработок, проводимых вприсечку к выработанному пространству.

2) По газам, образующимся при взрывных работах

$$Q_{з.н.2} = \frac{2,25}{T} \sqrt[3]{\frac{V_{вв} \cdot S^2 \cdot l_{н.п}^2 \cdot k_{обв}}{(k'_{ум.мп})^2}}, \quad (5.8.19)$$

где  $V_{вв}$  – объем ядовитых газов, образующихся после взрывания, л; при совместном взрывании по углю и по породе рассчитывается по формуле

$$V_{вв} = 100B_{ym} + 40B_{nop}, \quad (5.8.20)$$

а при раздельном взрывании

$$V_{вв} = \max\{100B_{y2}, 40B_{nop}\}, \quad (5.8.21)$$

где  $B_{y2}$ ,  $B_{nop}$  – масса одновременно взрываемых ВВ, соответственно по углю и по породе, кг;  $T$  – время проветривания выработки после взывания, с; принимается не более 1800 с;  $l_{n.p}$  – расчетная длина тупиковой части выработки, м; при длине тупиковой выработки 500 м и более принимается равной 500 м, а при меньшей длине – равной длине выработки;  $k_{обв}$  – коэффициент, учитывающий обводненность выработки; принимается равным 0,8 при прохождении выработки по сухим породам; 0,6 – при проведении выработки частично по водоносным породам (влажные выработки) и 0,3 – при проведении выработки по всей длине по водоносным породам или с применением водяных завес (обводненные выработки);  $k'_{ym.mp}$  – коэффициент утечек воздуха в вентиляционном трубопроводе для расчетной длины выработки  $l_{n.p}$ . При определении  $k'_{ym.mp}$  необходимо предварительно принять расход воздуха  $Q_{з.н}$  (м<sup>3</sup>/с), рассчитанный по формуле (5.8.23).

Коэффициент утечек воздуха для гибких вентиляционных трубопроводов типа 1А и 1Б принимается по табл. 5.8.1, а для жесткого трубопровода из стальных труб определяется согласно указаниям нормативных актов [6, 5] или справочной литературы [2].

Для уменьшения утечек воздуха и аэродинамического сопротивления гибких трубопроводов следует применять комбинированный вентиляционный трубопровод. Такой трубопровод включает начальный участок (считая от вентилятора) из гибких труб типа 1А или 1Б с введенным внутрь их полиэтиленовым рукавом и конечный участок протяженностью 150-200 м из труб без полиэтиленового рукава. Комбинированный трубопровод рекомендуется применять при диаметре труб 0,6 м и более, длине трубопровода 400 м и более и обязательно со специальным пускорегулирующим устройством для предотвращения порыва полиэтиленового рукава при запуске вентилятора.

Коэффициент утечек для комбинированного трубопровода определяется по формуле

$$k_{ym.mp} = k_{ym.mp.1} \cdot k_{ym.mp.2}, \quad (5.8.22)$$

где  $k_{ym.mp.1}$  – коэффициент утечек воздуха на конечном участке трубопровода без полиэтиленового рукава; определяется по табл. 5.8.1;  $k_{ym.mp.2}$  – коэффициент утечек воздуха на участке комбинированного трубопровода; принимается по табл. 5.8.2.

3) По минимальной скорости движения воздуха

$$Q_{з.н.3} = V_{n.min} \cdot S, \quad (5.8.23)$$

где  $V_{n.min}$  – минимально допустимая согласно ПБ скорость движения воздуха в тупиковой выработке, м/с.

Таблица 5.8.1

Значения коэффициентов утечек воздуха для гибких вентиляционных трубопроводов для труб типа 1А и 1Б при длине звена 20 м

Расход воздуха в конце трубопровода, м <sup>3</sup> /с	Коэффициент утечек при длине трубопровода, м												
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	2000
Для труб диаметром 0,6 м													
2,0	1,09	1,18	1,30	1,46	1,66	1,91	2,23	2,62	3,12	4,54			
4,0	1,12	1,24	1,43	1,68	2,03								
6,0	1,14	1,31											
Для труб диаметром 0,8 м													
2,0	1,05	1,09	1,15	1,22	1,30	1,39	1,50	1,63	1,77	2,13	2,56	3,17	4,90
4,0	1,06	1,11	1,18	1,27	1,36	1,52	1,67	1,87	2,09	2,63	3,53	4,75	
6,0	1,06	1,13	1,22	1,33	1,47	1,65	1,86	2,13	2,47				
8,0	1,07	1,15	1,25	1,39	1,56	1,79	2,08						
10,0	1,08	1,16	1,29	1,45	1,66								
Для труб диаметром 1,0 м													
2,0	1,03	1,06	1,10	1,14	1,19	1,24	1,30	1,37	1,45	1,62	1,84	2,09	2,75
4,0	1,04	1,07	1,11	1,16	1,22	1,29	1,36	1,45	1,55	1,79	2,09	2,48	3,56
6,0	1,04	1,08	1,12	1,18	1,25	1,33	1,43	1,54	1,66	1,98	2,39	2,93	
8,0	1,04	1,08	1,14	1,20	1,28	1,38	1,49	1,63	1,78	2,18			
10,0	1,04	1,09	1,15	1,22	1,31	1,43	1,56	1,72	1,91				

Таблица 5.8.2

Значения коэффициентов утечек воздуха для трубопроводов с полиэтиленовым рукавом

Расход воздуха $Q_{з.п.}$ , м <sup>3</sup> /с	Значение $k_{ут.тр}$ при длине трубопровода, м					
	501-600	601-300	801-1000	1001-1500	1501-2000	2001-2500
Для труб диаметром 0,6 м						
до 2,5	1,02	1,03	1,04	1,11	1,19	1,38
2,5/ 6,0	1,04	1,07	1,10	1,23	1,45	1,56
6,0-7,55	1,06	1,11	1,15	1,25	1,71	
7,5-10,0	1,08	1,15	1,19			
Для труб диаметром 0,8 м						
до 2,5	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,12
2,5- 6,0,	1,03	1,04	1,06	1,08	1,14	1,23
6,0- 7,5	1,04	1,06	1,08	1,11	1,19	1,35
7,5-10,0	1,05	1,08	1,11	1,14	1,28	1,40
Для труб диаметром 1,0 м						
до 2,5	1,01	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04
2,5- 6,0	1,01	1,01	1,02	1,03	1,06	1,10
6,0- 7,5	1,01	1,01	1,02	1,05	1,09	1,14
7,5-10,0	1,01	1,02	1,03	1,06	1,12	1,19



4) По тепловому фактору

$$Q_{з.н.4} = 0,33 \cdot V_{з.мин} \cdot S, \quad (5.8.24)$$

где  $V_{з.мин}$  – минимально допустимая ПБ скорость движения воздуха в призабойном пространстве тупиковой выработки, м/с; принимается в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха по табл.5.8.3.

Таблица 5.8.3

Скорость движения воздуха по тепловому фактору

Температура воздуха, °С	Минимальная скорость движения воздуха, м/с, при относительной влажности, %		
	60-75	75-90	свыше 90
22 и менее	0,25	0,25	0,25
23	0,25	0,25	0,50
24	0,25	0,50	1,00
25	0,50	1,00	2,00
26	1,00	2,00	–

Окончательно принимается максимальное значение  $Q_{з.н}$  из всех рассчитанных.

Подача вентилятора местного проветривания (ВМП), работающего на гибкий или жесткий трубопровод  $Q_в$  (м<sup>3</sup>/с), определяется по формуле

$$Q_в = Q_{з.н} \cdot k_{ут.тп} \quad (5.8.25)$$

Затем производят проверку подачи вентилятора по условию

$$\frac{Q_в}{k_{ут.тп}''} > Q_n \quad (5.8.26)$$

где  $k_{ут.тп}''$  – коэффициент утечек воздуха в трубопроводе на участке от ВМП до устья тупиковой выработки.

Расход воздуха, который необходимо подавать к месту установки одиночного ВМП или каскада ВМП, работающего на один трубопровод,

$$Q_{н.в} = 1,43k_p Q_в \quad (5.8.27)$$

а для группы ВМП, работающих на разные трубопроводы и установленных в одном месте

$$Q_{н.в} = 1,43k_p \sum Q_в \quad (5.8.28)$$

где  $k_p$  – коэффициент регулирования; принимается равным 1,0 для нерегулируемых вентиляторов (например ВМ-4, СВМ-6 и др) и 1,1 для ВМП с регулируемой подачей.

Решение вопроса, какой из полученных расходов  $Q_в$  или  $Q_{н.в}$  необходимо в дальнейшем включать в расчет общешахтного расхода воздуха (5.8.1) зависит от расположения тупиковых выработок в схеме вентиляции шахты. Если проходящий мимо вентилятора свежий воздух используется для проветривания других объектов, то в формулу (5.8.1) подставляют  $Q_в$  при соблюдении, разумеется, условия (5.8.26), а если этот воздух поступает затем в исходящую венти-

ляционную струю, то в формулу (5.8.1) следует подставлять расход  $Q_{н.в}$ , рассчитанный по формулам (5.8.27) или (5.8.28).

### 5.8.5 Расход воздуха для погашаемых выемочных участков

Расход воздуха для проветривания погашаемого участка  $Q_{ног.в}$  принимается равным  $0,5 \cdot Q_{уч}$  и должен удовлетворять условию обеспечения минимально допустимой скорости движения воздуха в очистном забое и в выработках участка

$$SV_{min} \leq Q_{ног.в} \geq S_{оч} V_{min} k_{ум.в} \quad (5.8.29)$$

Для Днепровского бурогоугольного бассейна  $Q_{ног.в}$  принимается равным расчетному  $Q_{уч}$ .

### 5.8.6. Расход воздуха для поддерживаемых выработок

К поддерживаемым выработкам относятся выработки, которые не используются для подачи свежего воздуха на выемочные участки, в тупиковые выработки, в камеры и для отвода из них исходящей вентиляционной струи.

Расход воздуха для таких выработок  $Q_{под.в}$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) рассчитывается по минимальной скорости движения воздуха  $V_{min}$  ( $\text{м}/\text{с}$ )

$$Q_{под.в} = SV_{min} \quad (5.8.30)$$

Для главных транспортных поддерживаемых выработок, оборудованных ленточными конвейерами,  $V_{min}$  принимается равным 0,7-1,3 м/с, для остальных выработок – согласно требованиям ПБ. Для поддерживаемых выработок вновь проектируемых горизонтов шахт III категории по газу и выше, кроме главных транспортных конвейерных выработок,  $V_{min}$  принимается равной 0,25 м/с.

Для поддерживаемых выработок длиной не более 30 м, в которых установлены перемычки с дверями, вместо расчета по минимальной скорости расход воздуха должен определяться по нормам утечек через двери.

### 5.8.7. Расход воздуха для обособленно проветриваемых камер

1) Расход воздуха для проветривания склада ВМ

$$Q_k = 0,0012 \cdot V_k, \quad (5.8.31)$$

где  $V_k$  – суммарный объем выработок склада ВМ,  $\text{м}^3$ .

2) Расход воздуха для проветривания зарядных камер

$$Q_k = 0,5 \cdot n_б \cdot k_з, \quad (5.8.32)$$

где  $n_б$  – число одновременно заряжаемых аккумуляторов батарей;  $k_з$  – коэффициент, учитывающий тип применяемых на электровозе батарей; принимается согласно табл. 5.8.4.

3) Расход воздуха для проветривания электромашинных камер

$$Q_k = \frac{0,28 \sum_{i=1}^{n_з} N_{yi} (1 - \eta_i) k_{zi} + 0,013 \sum_{i=1}^{n_m} N_{mi}}{26 - t_{ex}}, \quad (5.8.33)$$

где  $N_{yi}$  – мощность  $i$ -ой электроустановки в камере, кВт; учитываются одновременно работающие установки;  $\eta_i$  – к.п.д.  $i$ -ой электроустановки (для насосных и подъемных установок принимается равным к.п.д. двигателя, для подземных вакуум-насосных станций – произведение к.п.д. двигателя и вакуум-насоса);  $k_{zi}$  – коэффициент, учитывающий продолжительность работы  $i$ -ой электроустановки в течение суток; для установок с продолжительностью непрерывной работы 1 ч и более  $k_{zi} = 1$ , а при меньшей продолжительности

$$k_{zi} = \frac{T_{pi}}{24}, \quad (5.8.34)$$

где  $T_{pi}$  – суммарная продолжительность работы  $i$ -ой установки в течение суток, ч;  $N_{mi}$  – мощность  $i$ -го трансформатора, установленного в камере, кВт;  $n_s$  – число одновременно работающих электроустановок;  $n_m$  – число одновременно работающих трансформаторов;  $t_{ex}$  – температура воздуха в выработке перед камерой в наиболее теплый месяц года, °С; при проектировании новых и реконструируемых шахт принимается равной минимально допустимой температуре.

Таблица 5.8.4

Значения коэффициента, учитывающего тип применяемых батарей

Тип батареи	66 ТЖН-280	66 ТНЖШ-300	166 ТНЖШ-550	96 ТЖМ-350	96 ТЖМ-500	112 ТЖМ-350	112 ТЖМ-500	112 ТНЖШ-500	90 ТНЖШ-550	102 ТНЖШ-550	88 ТМК-400	161 ТНЖШ-650	126 ТНЖ-550
$k_z$	0,6	0,6	2,6	1,0	1,4	1,2	1,7	1,7	1,5	1,7	2,1	3,1	2,2

### 5.8.8. Утечки воздуха через вентиляционные сооружения

Величина утечек воздуха через вентиляционные сооружения, установленные за пределами выемочных участков

$$\sum Q_{ут} = \sum Q_{ут.г} + \sum Q_{ут.шл} + \sum Q_{ут.кр} + \sum Q_{ут.зг}, \quad (5.8.35)$$

где  $\sum Q_{ут.г}$  – утечки воздуха через глухие вентиляционные переемы, м<sup>3</sup>/с;  $\sum Q_{ут.шл}$  – утечки воздуха через шлюзы, м<sup>3</sup>/с;  $\sum Q_{ут.кр}$  – утечки воздуха через кроссинги, м<sup>3</sup>/с;  $\sum Q_{ут.зг}$  – утечки воздуха через загрузочные устройства, м<sup>3</sup>/с.

Нормы утечек воздуха через глухие переемы приведены в табл. 5.8.5, через переемы со встроенными в них дверями или лядами – в табл. 5.8.6, а через загрузочные устройства – в табл. 5.8.7. Эти нормы даны при перепаде давления на вентиляционных сооружениях 500 Па. Если перепады давлений неизвестны, то табличные нормы утечек для сооружений в магистральных выработках шахты увеличиваются в 1,3 раза, а в околоствольных дворах – в 1,5 раза.

Норма утечек воздуха через шлюз рассчитывается по формуле

$$Q_{ут.шл} = k_{пер} Q_{ут}, \quad (5.8.36)$$

где  $Q_{ум}$  – норма утечек воздуха через одну перемышку,  $м^3/с$ ;  $k_{пер}$  – коэффициент, учитывающий число перемычек в шлюзе; принимается равным 0,76 при двух, 0,66 – при трех и 0,57 – при четырех перемычках.

Утечки воздуха через кроссинг определяются как сумма утечек через шлюзы (перемычки), умноженная на коэффициент 1,25.

Таблица 5.8.5

Нормы утечек воздуха через глухие перемычки

Площадь перемычки, $м^2$	2	4	7	10	15
Норма утечки воздуха, $м^3/с$	$\frac{0,17}{0,26}$	$\frac{0,23}{0,35}$	$\frac{0,30}{0,47}$	$\frac{0,37}{0,55}$	$\frac{0,45}{0,70}$

**Примечание:** в числителе даны утечки для перемычек из бетона, бетонита, шлакоблоков и др., а в знаменателе – из чураков.

Таблица 5.8.6

Нормы утечек воздуха через перемычки со встроенными дверями или лядами

Тип вентиляционных дверей (ВД) и перемычек	Нормы утечек воздуха, $м^3/с$ при площади дверей, $м^2$						
	до 2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
1. Автоматические ВД в каменных перемычках:							
– двухстворчатые	-	-	-	2,5	3,2	4,6	-
– раздвижные	-	-	-	1,5	1,9	2,0	2,2
– типа ляды	-	1,1	1,4	1,8	2,0	-	-
2. Неавтоматические ВД в каменных перемычках:							
– двухстворчатые	-	1,6	1,9	2,2	2,7	3,0	3,3
– одностворчатые	-	1,4	1,6	1,9	2,0	-	-
3. ВД в чураковых перемычках:							
– двухстворчатые	-	1,7	2,1	2,6	2,8	3,1	-
– одностворчатые	1,2	1,5	1,7	2,0	-	-	-
– дверь для прохода людей и окно для конвейера	4,6	6,6	-	-	-	-	-
4. Ляды в шурфах	3,0	3,6	-	-	-	-	-
5. Ляды в скатах и печах	4,6	6,5	-	-	-	-	-

**Примечание:** под каменными перемычками подразумеваются перемычки, изготовленные из природного камня, бетона, бетонита, кирпича.

Таблица 5.8.7

Нормы утечек воздуха через загрузочные устройства

Тип сооружения	Норма утечек воздуха, $м^3/с$
1. Загрузочные устройства в околоствольном дворе:	
– без бункера (течка) или бункер без слоя угля	6,0
– с бункером	2,5
2. Участковый бункер	2,0
3. Гезенк лаз	0,8
4. Перекрытый (погашенный) гезенк	0,2

### 5.8.9. Результаты расчетов расхода воздуха

Итоговые результаты расчетов расхода воздуха потребителей и внутренних утечек воздуха по шахте в целом сводят по форме табл. 5.8.8.

Таблица 5.8.8

#### Итоговые результаты расчетов расхода воздуха

Потребители воздуха	Количество объектов	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /с
1. Выемочные участки		
2. Тупиковые выработки		
3. Погашаемые выработки		
4. Поддерживаемые выработки		
5. Камеры: – складов ВМ – гараж-зарядных – электромашинные		
6. Утечки воздуха через вентиляционные сооружения: – глухие перемычки – двери (ляды) – шлюзы – кроссинги – загрузочные устройства		
Итого по шахте		

### 5.9. Расчет вентиляторной установки главного проветривания

#### 5.9.1. Статическое давление вентиляторной установки

За статическое давление (депрессию) вентиляторной установки принимается максимальное значение из рассчитанных при заданном воздухораспределении депрессий всех направлений (депрессия труднопроветриваемого направления). Каждое направление начинается от входа в устье воздухоподающего ствола, проходит через очистную выработку и заканчивается в канале вентилятора. К труднопроветриваемому обычно относят направление с наибольшей суммарной протяженностью горных выработок, максимальным расходом воздуха и не имеющим задействованных регуляторов расхода воздуха. При определении такого направления обычно определяется депрессия по нескольким или всем направлениям и результаты расчетов сопоставляются.

При проектировании новой шахты депрессия для труднопроветриваемого направления рассчитывается при минимальном и максимальном удалении горных работ на период, охватывающий срок службы вентилятора (14-20 лет). По-

лученные значения минимальной и максимальной депрессии используются для выбора вентилятора.

В проекте доработки шахты определяют депрессию труднопроветриваемого направления на год построения схемы вентиляции и используют ее для проверки существующего вентилятора.

Депрессия вентилятора  $h_e$  (Па) по каждому направлению определяется по формуле:

$$h_e = 1,2h_{n.в} + h_{к.у}, \quad (5.9.1)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий потери давления на местных сопротивлениях в шахтной вентиляционной сети и в канале вентиляторной установки;  $h_{n.в}$  – депрессия подземных выработок направления, Па;  $h_{к.у}$  – депрессия воздухонагревателей и канала калориферной установки, Па; учитывается только для безвентиляторных установок и рассчитывается по методике, изложенной в руководстве [6], а при отсутствии данных принимается равной  $0,1 \cdot h_{n.в}$ .

Депрессия  $h_{n.в}$  находится как сумма депрессий отдельных последовательно соединенных выработок (ветвей), входящих в направление

$$h_{n.в} = h_1 + h_2 + \dots + h_n. \quad (5.9.2)$$

Депрессия отдельной выработки может быть рассчитана по одной из формул:

$$h = \frac{\alpha PLQ^2}{S^3}; \quad (5.9.3)$$

$$h = \frac{\alpha k_\phi LQ^2}{S^{2,5}}; \quad (5.9.4)$$

$$h = 0,01r_{100}LQ^2; \quad (5.9.5)$$

$$h = RQ^2, \quad (5.9.6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент аэродинамического сопротивления,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ;  $P$  – периметр выработки, м;  $L$  – длина выработки, м;  $Q$  – расчетный расход воздуха по выработке,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения выработки в свету,  $\text{м}^2$ ;  $k_\phi$  – коэффициент формы поперечного сечения выработки; принимается для выработок круглого сечения равным 3,54; сводчатого (арочного) – 3,8; квадратного – 4,0 и трапециевидного – 4,16;  $r_{100}$  – удельное аэродинамическое сопротивление стометрового участка выработки,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$ ;  $R$  – аэродинамическое сопротивление выработки в целом,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$ .

Периметр и площадь сечения выработки связаны соотношением

$$P = k_\phi \sqrt{S}. \quad (5.9.7)$$

Формулой (5.9.4) обычно пользуются, если известна форма выработки и нет значений ее периметра. Формулы (5.9.5) и (5.9.6) применяют в тех случаях, если аэродинамическое сопротивление выработки задано в справочной литературе предварительно рассчитывается или принимается по данным депрессионной съемки шахты.

Значения коэффициентов аэродинамического сопротивления  $\alpha$  принима-

ются по данным нормативно-справочной литературы [1, 2, 6].

Ввиду того, что в нормативно-справочной литературе единицы давления (депрессии), коэффициента  $\alpha$  и аэродинамического сопротивления  $R$  приведены зачастую во внесистемных единицах, в системе МКГСС, при пересчете их в СИ следует пользоваться соотношениями:

$$\begin{aligned} h: & 1 \text{ мм вод.ст.} = 1 \text{ кгс/м}^2 = 9,81 \text{ Па} \approx 1 \text{ даПа}; \\ R: & 1 \text{ киломюрг (кμ)} = 1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8 = 9,81 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8; \\ \alpha: & 1 \text{ кμ} \cdot \text{м}^4 = 1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4 = 9,81 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4. \end{aligned}$$

Аэродинамическое сопротивление лав  $R_{оч}$  ( $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$ ) оборудованных механизированными крепями определяется по формуле

$$R_{оч} = 0,01r_{100}L_{оч} + \frac{0,6 \cdot (\xi_{вх} + \xi_{вых})}{S_{оч}^2}, \quad (5.9.8)$$

а для лав с индивидуальной крепью

$$R_{оч} = \frac{0,14L_{оч} + 0,6 \cdot (\xi_{вх} + \xi_{вых})}{S_{оч}^2}, \quad (5.9.9)$$

где  $\xi_{вх}$  и  $\xi_{вых}$  – коэффициенты местного сопротивления входа и выхода лавы (считая по ходу вентиляционной струи); ориентировочно принимаются соответственно равными 2,0 и 3,0.

Для лав с механизированными крепями значения  $S_{оч}$  и  $r_{100}$  принимаются по табл. 5.5.2, а для лав с индивидуальной крепью  $S_{оч}$  рассчитывается по формуле (5.5.2).

Депрессия механизированных лав на крутых пластах при выемке угля комбайном определяется с учетом влияния потока падающего угля по методике, изложенной в руководстве [6] или [5].

Коэффициент аэродинамического сопротивления горизонтальных и наклонных выработок, оборудованных конвейерами, определяется по формуле

$$\alpha_k = \alpha \frac{S^3}{S_{жс}^3}, \quad (5.9.10)$$

где  $\alpha$  – коэффициент аэродинамического сопротивления этой же выработки, но без конвейера,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения выработки в свету,  $\text{м}^2$ ;  $S_{жс}$  – то же, но без сечения конвейера,  $\text{м}^2$ .

При определении депрессии отдельной выработки (ветви) рассматриваемого направления расчетный расход воздуха в ней  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) принимается:

– в очистных забоях

$$Q = Q_{оч}; \quad (5.9.11)$$

– в выработках выемочного участка при схемах проветривания типа 1-М и 1-В

$$Q = k_{ут.в} Q_{оч}; \quad (5.9.12)$$

– в выработках выемочного участка при схемах проветривания типа 2-В, 3-В:

а) в выработке с поступающей струей, направляемой в лаву, – рассчитанной по формуле (5.9.11);

б) в выработке с исходящей из участка струей

$$Q = k_{\text{ум.в}} Q_{\text{оч}} + Q_{\text{дон}}; \quad (5.9.13)$$

во всех общешахтных выработках равным общему расходу воздуха, необходимому для проветривания объектов, для которых данная выработка является воздухоподающей или отводящей, умноженному на коэффициент 1,25, учитывающий неравномерность распределения воздуха в сети горных выработок, резерв вентиляционной сети и вентиляторных установок.

При рассредоточенных утечках воздуха за расчетный расход  $Q$  принимается среднее геометрическое из начального  $Q_{\text{нач}}$  и конечного  $Q_{\text{кон}}$  расходов

$$Q = \sqrt{Q_{\text{нач}} Q_{\text{кон}}}. \quad (5.9.14)$$

При наличии сосредоточенных утечек воздуха расчет депрессии производится по участкам выработки.

Расчет депрессии направления ведется по форме табл. 5.9.1. В зависимости от способа задания аэродинамических параметров горной выработки отдельные столбцы табл. 5.9.1 не заполняются

Таблица 5.9.1

Наименование выработки	Номера узлов на схеме вентиляции	Тип крепи	$\alpha$ , Н·с <sup>2</sup> /м <sup>4</sup>	$S$ , м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5
Клетевой ствол	1-2	бетон	0,033	33,2
и т.д.	...	...	...	...

Окончание табл. 5.9.1

$P$ , м	$k_{\phi}$	$L$ , м	$r_{100}$ , Н·с <sup>2</sup> /м <sup>8</sup>	$R$ , Н·с <sup>2</sup> /м <sup>8</sup>	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$h$ , Па	$V$ , м/с
6	7	8	9	10	11	12	13
—	3,54	400	—	0,0074	101,7	76	3,06
...	...	...	...	...	...	...	...

Статическое давление вентиляторной установки следует, как правило, ограничивать величиной 3000 Па, допуская при соответствующих обоснованиях его увеличение до 4500 Па для сверхкатегорных и опасных по внезапным выбросам шахт, а также шахт производственной мощностью 4000 т в сутки и более.

Если  $h_e$  превышает допустимую величину, то следует предусматривать меры по снижению аэродинамического сопротивления выработок путем применения рациональной армировки стволов, обтекателей расстрелов, аэродинамически совершенных межрамных ограждений, увеличения сечения или проведение параллельных выработок, изменения схемы вентиляции.

### 5.9.2. Подача вентиляторной установки

Подача вентиляторной установки  $Q_{\text{в}}$  (м<sup>3</sup>/с) определяется по формуле

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{ши}} k_{\text{ум.вн}}, \quad (5.9.15)$$



где  $Q_{ши}$  – расход воздуха, поступающий из шахты к данному вентилятору (подаваемый в шахту при нагнетательном способе проветривания),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $k_{ут.вн}$  – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через надшахтные сооружения и каналы вентиляторов; принимается равным; при установке вентиляторов на скиповом стволе 1,25; на клетевом – 1,2; на стволах и шурфах, не используемых для подъема – 1,1; на шурфах, используемых для подъема и спуска материалов – 1,3.

### 5.9.3. Выбор (проверка) вентиляторной установки

В проекте новой шахты выбирают вентилятор, а для действующей шахты проверяют пригодность существующего там вентилятора для дальнейшей эксплуатации. С этой целью расчетные параметры  $Q_в$  и  $h_в$  наносят на сводный график рабочих областей вентиляторов (на аэродинамическую характеристику существующего вентилятора) [2]. Выбранный (существующий) вентилятор должен обеспечить расчетные значения подачи и статического давления ( $h_{в.маx}$  и  $h_{в.миn}$ ) в области его промышленного использования.

Для уточнения режима работы вентилятора на шахтную вентиляционную сеть строят совмещенный график аэродинамических характеристик вентиляторной установки и шахтной сети.

Аэродинамическое сопротивление шахтной сети, на которую работает данный вентилятор, определяется по формуле

$$R_{ши} = \frac{h_в}{Q_в^2}. \quad (5.9.16)$$

Для построения аэродинамической характеристики сети задают произвольные значения расхода воздуха  $Q_i$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), рассчитывают депрессию  $h_i$  (Па)

$$h_i = R_{ши} Q_i^2. \quad (5.9.17)$$

Затем наносят парные значения  $Q_i$  и  $h_i$  на аэродинамическую характеристику вентилятора, определяют угол установки лопаток рабочего колеса (для осевого вентилятора) или лопаток направляющего аппарата (для центробежного вентилятора), который обеспечивает расчетные параметры вентилятора, и устанавливает фактический режим его работы ( $Q_{в.ф}$  и  $h_{в.ф}$ ).

## Часть II. ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ

### РАЗДЕЛ 6. ЕСТЕСТВЕННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ

Причинами движения воздуха в карьере могут быть наличие ветра на поверхности, термические силы, или наличие их одновременно. В связи с этим выделяют ветровые, термические и комбинированные схемы проветривания карьеров.

Под схемой проветривания карьеров понимают графическое изображение процессов движения воздуха в карьерном пространстве.

#### 6.1. Проветривание карьеров энергией ветра.

Изложенная в этом параграфе теория в основном разработана В.С. Никитиным. В этой теории допускается, что в карьере отсутствуют сколько-нибудь заметные термические силы. Такое движение имеет место при адиабатической стратификации воздуха в карьере, когда атмосфера находится в состоянии безразличного равновесия, и если на перемещение воздуха по вертикали не нужны дополнительные затраты энергии.

Поскольку адиабатическая стратификация является одним из частных состояний атмосферы, отмеченное обстоятельство следует учитывать при выполнении расчетов согласно приведенной ниже теории.

Существует две основных схемы проветривания карьеров с помощью энергии ветра – прямоточная и рециркуляционная. Кроме этих простых ветровых схем могут возникать комбинированные ветровые схемы – прямоточно-рециркуляционная и рециркуляционно-прямоточная.

##### 6.1.1. Прямоточная схема проветривания карьеров.

Прямоточная схема проветривания возникает при скорости воздуха на поверхности выше, чем  $0,8...1$  м/с и при угле наклона подветренного борта карьера  $15^0$  и менее. Возникновение прямоточной или рециркуляционной схемы зависит в основном от геометрии карьера (угла наклона борта карьера). Однако возможен переход с рециркуляционной схемы на прямоточную при увеличении скорости ветра на поверхности при неизменных геометрических параметрах карьера. Это объясняется усилением турбулентности атмосферы при увеличении скорости ветра и связанным с этим возрастанием угла раскрытия свободной струи.

Прямоточная схема проветривания карьера изображена на рис. 6.1.

Поток движущегося над земной поверхностью воздуха, достигает точки 0 и далее расширяется по борту карьера, вследствие чего скорость его движения уменьшается. Плоскость *a-a* разграничивает воздушный поток на две части: часть, которая расширилась вниз карьера, и часть приостановленного воздуха над карьером, выше плоскости *a-a*. Поток воздух оmyвает подветренный борт карьера. После встречи с наветренным бортом поток воздуха движется вдоль

него вверх и сужается. Вследствие незначительного угла откоса подветренного борта карьера ( $\alpha \leq 15^\circ$ ) не возникает срыва струи. В карьере распространяется ограниченная струя, границами которой являются борта и дно карьера.

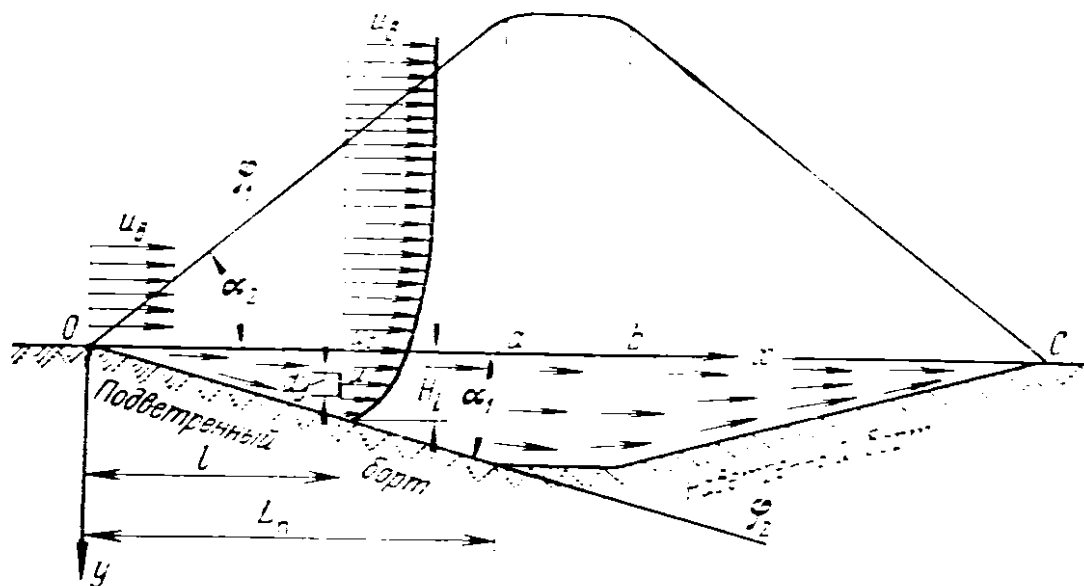


Рис. 6.1. Прямоточная схема проветривания карьера.

Граница зоны постоянных скоростей над карьером  $\phi_1$ , выше которой скорость воздуха равняется скорости его на поверхности ( $U_B$ ) далеко за пределами карьера, составляет с плоскостью горизонта угол  $\alpha_2 \cong 40^\circ$ . Таким образом, между поверхностями карьера (борт, дно) и границей зоны постоянных скоростей  $\phi_1$  происходит изменение скорости движения воздуха от нуля возле твердых поверхностей к  $U_B$  на границе  $\phi_1$ .

При прямоточной схеме скорость движения воздух в точке карьера с координатами  $(x, y)$  определяется по формуле

$$U_{np} = 0,725 \cdot U_B \cos\left(5,8 \frac{y}{x}\right) \quad (6.1)$$

где  $U_B$  – скорость движения воздуха на земной поверхности, м/с;

Область действия формулы (6.1)

$$1,57 \leq 5,85 \frac{y}{x} \leq 0 \quad (6.2)$$

Минимальная скорость движения воздуха на рабочих горизонтах ( $U_{min}$ ) должна быть достаточной для выноса вредных веществ.

$U_{min} = 0,15 \dots 0,25$  м/с – для вредных газов, 0,6 м/с – для пыли.

При прямоточной схеме проветривания карьера критическая скорость ветра на земной поверхности, обеспечивающая в точке с координатами  $(x, y)$  скорость воздуха  $U_{min}$  составляет

$$U_{Bкр} = \frac{U_{min}}{0,725 \cdot \cos 5,85 \frac{y}{x}} \quad (6.3)$$

Скорость воздуха на участке  $0 - a$  уменьшается при возрастании  $x$  вследствие расширения струи, а на участке  $b - C$  увеличивается вследствие ее сужения.

На схемах (рис. 6.1.) обычно не указывают слой воздуха, в котором скорость падает до нуля, вследствие трения о твердые поверхности (борта и дно) карьера, в связи с небольшой толщиной слоя и мелкого масштаба схем.

С некоторым приближением можно считать, что карьер проветривается воздухом, который движется между осью  $OX$  и поверхностью карьера.

Элементарный объем воздуха, который проходит в единицу времени через плоскость, размещающуюся в произвольном поперечном сечении воздушного потока  $x = l = const$ , имеющего размер  $dy$  по вертикали и единицу по горизонтали

$$dq = U l dy \quad (6.4)$$

где  $U$  – скорость воздуха в центре площадки.

Общий расход воздуха через сечение  $x = l = const$

$$Q = \int_0^{H_b} U dy \quad (6.5)$$

где  $H_e$  – глубина карьера в сечении  $x=l=const$ .

С учетом формулы (6.1) имеем

$$Q = \int_0^{H_b} 0,725 U_{\%} \cos 5,85 \frac{y}{x} dy = 0,124 U_{\%} l \sin \left( 5,85 \frac{H_l}{l} \right) \quad (6.6)$$

В формуле (6.6)  $0 \leq X L_n$ ,

где  $L_n$  – длина проекции подветренного борта на горизонтальную плоскость.

Формула (6.6) для карьера запишется в виде

$$Q_{кр} = 0,124 U_b L_n \sin(5,85 H/L_n) \quad (6.7)$$

где  $H$  – глубина карьера, м.

Прямоточная схема проветривания карьера является наиболее благоприятной. При такой схеме в карьере не образуются застойные зоны больших размеров и вредности интенсивно выносятся из карьера. Однако, не исключаются случаи местного загрязнения атмосферы близ источников выделения вредных веществ. Общее загрязнение атмосферы карьера не происходит. Чем меньше угол откоса бортов карьера, тем лучше вредности выносятся из карьерного пространства. При увеличении угла откоса воздушный поток больше расширяется, вследствие чего уменьшается скорость воздуха.

При прямоточной схеме условия проветривания подветренного и наветренного бортов карьера не одинаковы.

Подветренный борт проветривается чистым воздухом поступающего с поверхности. Наветренный борт проветривается воздухом, частично омывающего подветренный борт и дно карьера, и таким образом содержит определенное количество вредных веществ.

Прямоточная схема движения воздуха в карьере характерна для первой стадии разработки месторождений открытым способом, а также для условий разработки пологих и горизонтально-залегающих полезных ископаемых.

Малые скорости движения воздуха на границе свободного потока вызывают в приземном слое очень слабые перемещения примесей.

Наветренный борт карьера при прямоточной схеме движения омывается довольно активно за счет прироста скорости воздуха.

Скорость потока на поверхности наветренного борта карьера увеличивается снизу вверх, и возле верхней бровки она становится равной скорости ветра, и может быть определена по формуле

$$U = U_e (1 + 0,36\varphi - 0,177\varphi^2), \text{ м/с} \quad (6.8)$$

Важным недостатком прямоточной схемы является то, что при увеличении размеров карьера толщина слоя с маленькими скоростями потока возле поверхности уступов и в глубокой части карьера также увеличивается, а при наличии в карьере разных углублений, в них получают в особенности неблагоприятные условия вследствие образования слабо проветриваемых и застойных зон.

### 6.1.2. Рециркуляционная схема проветривания карьера.

Рециркуляционная схема проветривания карьера возникает при скорости ветра на поверхности более, чем 0,8...1 м/с и угле откоса подветренного борта более, чем  $15^\circ$ .

При этой схеме на линии пересечения земной поверхности с подветренным бортом карьера за счет значительных сил инерции возникает отрыв потока воздуха от твердой поверхности. Это приводит к тому, что воздух в карьерном пространстве движется в виде плоско-параллельной струи. На рис. 6.2. границами этой струи являются линии  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

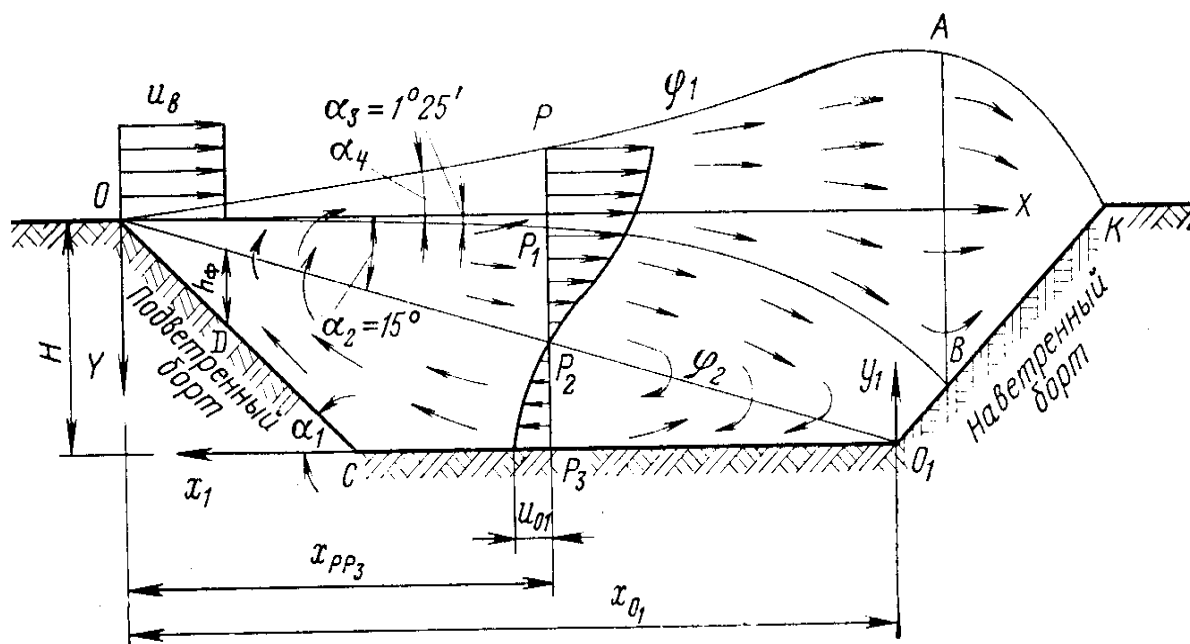


Рис 6.2. Рециркуляционная схема проветривания карьера.

Выше границы  $\varphi_1$  скорость воздуха равняется скорости ветра на поверхности. Свободный поток в точке B наветренного борта делится на две части.

Первая часть, движущаяся вдоль уступа, выходит на поверхность. Вторая, которая поворачивает вниз, движется в противоположном направлении. Поток в границах свободной струи между линиями раскрытия струи  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  является струей I рода. Поток воздуха, движущейся в противоположном направлении является струей второго рода.

Струя I рода – это зона попутного движения воздуха, который совпадает с направлением ветра. Внешняя граница потока I рода проходит под углом  $\alpha_2 \cong 15^\circ$  (рис. 6.2. – линия  $00_1$ ). На рис 6.2.  $\alpha_1$  - угол наклона подветренного борта карьера. Этой зоне отвечает безразмерный параметр  $\varphi_2 = 2,04$ .

Внутренняя граница потока I рода проходит под углом  $\alpha_4 = 7^\circ 28'$ . Ей отвечает безразмерный параметр, который составляет 0,98.

Поток II рода – это зона обратного движения, в котором карьерный воздух имеет противоположное направление относительно направления ветра на поверхности. На рисунке это зона, расположенная между подветренным бортом карьера и линией  $00_1$ .

На линии размежевания этих двух зон имеют место участка с порывистым движением воздуха самых разных направлений.

Из зоны обратного потока воздух возвращается вверх и снова поступает в зону попутного потока. Этот поворот начинается левее пересечения  $PP_1$  (рис. 6.2.). В зоне  $0P_1B0_1C0$  имеет место многоразовая циркуляция (рециркуляция) одних и тех же объемов воздуха. Это определяет название схемы как рециркуляционная.

Точка  $0I$  в месте пересечения границы  $\varphi_2$  свободной струи I рода с поверхностью карьера не обязательно должна совпадать с вершиной угла, который образуется дном карьера и наветренным бортом. Если размер карьера в направлении ветра будет менее коротким, чем на рис. 6.2., то точка  $0I$  будет находиться на наветренном борту карьера и приближаться к точке  $K$  при уменьшении размеров карьера.

Ядро постоянной массы свободной струи I рода, в которой расход воздуха в любом сечении равен расходу на входе в карьер, находится между прямыми  $0P$  и  $0P_1$ , которые образуют с осью  $0X$  угол  $\alpha_3 = 1^\circ 25'$  и  $\alpha_4 = 7 \dots 11^\circ$ . Углу  $\alpha_3$  отвечает безразмерный параметр – 0,185.

В зоне попутного потока скорость воздуха уменьшается при возрастании глубины карьера. На границе струи  $\varphi_2$  продольные скорости воздуха равны нулю, а поперечные – отличны от нуля.

В зоне обратного воздушного потока скорость воздуха при увеличении глубины возрастает и достигает максимума возле поверхности карьера. На дне карьера максимальная скорость в вихревой зоне находится в сечении  $P-P_3$ , положение которого определяется абсциссой

$$X_{pp_3} = 0,6 X_{0_1}, \quad (6.8)$$

где  $X_{0_1}$  - абсцисса точки  $0_1$ , которая находится в точке пересечения линии  $00_1$  с поверхностью карьера.

В струе I рода скорости на участке от точки  $0$  к пересечению  $PP_3$  подобны. Поле скорости в этой зоне описывается зависимостью

$$\frac{U_I}{U_B} = F(\varphi) = \left[ 0,0176 e^{-\varphi} + 0,7 \cdot e^{\frac{\varphi}{2}} \sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\varphi + 1,239\right) \right] \quad (6.9)$$

где  $U_B$  - скорость ветра на поверхности, м/с;

$$\varphi = 7,64 \frac{y}{x};$$

$x, y$  - координаты точки, в которой определяется продольная составляющая скорость ветрового потока.

Распределение скоростей в поперечных сечениях струи II рода на участках, не ограниченных склонами бортов карьера в границах его дна описывается зависимостью

$$\frac{U}{U_m} = F(\varphi_1) \quad (6.10)$$

где  $F(\varphi_1)$  - функция, которая аналогичная функции  $F(\varphi)$ , но для координат  $x_1, y_1$ .

$$\varphi_1 = 7,64 \frac{y_1}{x_1}, \quad \varphi = 1,48 \cdot \varphi_1 - 2,04,$$

где  $x_1, y_1$  - координаты точки с продольной скоростью и в системе координат струи II рода с центром в точке  $0_1$ .

$U_m$  - скорость на оси струи II рода в заданном вертикальном сечении, м/с;

$$U_m = 0,35 \cdot U_{\%} \left( \frac{3,73 \cdot H - X_1}{X_1} \right), \quad (6.11)$$

где  $H$  - глубина расположения оси струи II рода, м.

Поле скоростей в зоне струе II рода опишется зависимостью

$$\begin{aligned} \frac{U_{II}}{U_m} = & 0,0176 \cdot \exp(2,04 - 1,48 \cdot \varphi_1) + \\ & + 0,7 \cdot \exp\left(\frac{1,48 \cdot \varphi_1 - 2,04}{2}\right) \sin\left[\frac{\sqrt{3}}{2}(1,484 \cdot \varphi_1 - 2,04) + 1,239\right] \end{aligned} \quad (6.12)$$

Скорость потока возле поверхности подветренного борта

$$U_{\phi} = 0,38 \frac{U_{\%}}{h_{\phi}} (H - 0,27x_1) \quad (6.13)$$

где  $h_{\phi}$  - фактическая высота поперечного сечения струи II рода, проходящей через данную точку, м.

Формулы (6.11) и (6.13) справедливы в границах  $0,4 X_{0I} \leq X_I \leq X_{0I}$ .

На участке наветренного борта карьера  $BK$  скорость ветра определяется по формуле

$$U_{BK} = U_B (1 + 1,14\varphi + 0,35\varphi^2) \quad (6.14)$$

Формула (6.14) справедлива при наличии  $-1,34 \leq \varphi \leq 0$ .

Скорости воздуха в заданной точке не должны быть меньше скорости ветра  $U_{\min}$ , это определяет критическую скорость ветра на поверхности.

Для струи I рода

$$U_{B \text{ кр}} = U_{\min} / F(\varphi) \quad (6.15)$$

Для подветренного и наветренного бортов карьера скорость ветра на поверхности также должна обеспечивать  $U_{\phi} \geq U_{\min}$  и  $U_{BK} \geq U_{\min}$ .

Скорости воздушного потока возле поверхности уступов зависят от места их расположения в карьере, от отношения размеров карьера на уровне поверхности к глубине, от скорости ветра.

Исходя из равенства безразмерных скоростей (точка  $B$  на рис. 6.2), определенных при значениях  $\varphi = -1,34$  для сечения  $AB$  согласно формулам (6.9) и (6.14) означает, что дополнительная деформация приграничного слоя между сечениями  $PP_2$  и  $AB$  не влияет существенным образом на распределение скоростей. Таким образом, основная деформация скоростного поля приграничного слоя происходит по сечению  $AB$  в направлении движения потока. Скорость потока возле поверхности уступов за этим сечением определяется по формуле (6.14).

Значения функции  $F(\varphi)$  для плоскопараллельной струи приведены в таблицах. На базе этих данных полученная формула для определения расхода воздуха в границах струи I рода между любыми двумя точками, которые определяются расстояниями от оси  $OX$

$$Q_I = U_{\%} L X_0 \left\{ 0,0023 \left[ \exp\left(-\frac{7,64 \cdot H_1}{X_0}\right) + \exp\left(-\frac{7,64 \cdot H_2}{X_0}\right) \right] + \right. \\ \left. + 0,0914 \left[ \exp\left(\frac{3,82 \cdot H_1}{X_0}\right) \sin\left(\frac{6,616 \cdot H_1}{X_0} + 0,193\right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \exp\left(\frac{3,82 \cdot H_2}{X_0}\right) \sin\left(\frac{6,616 \cdot H_2}{X_0} + 0,193\right) \right] \right\} \quad (6.16)$$

где  $X_0$  – расстояние от точки пересечения подветренного борта карьера с земной поверхностью до сечения, в котором определяется расход воздуха, м.

$H_1, H_2$  – расстояние от земной поверхности соответственно первого и второго горизонтальных сечений, между которыми определяется расход воздуха, м. В формуле (6.16) принимается  $H_1 > H_2$ .

$L$  – размер карьера на уровне земной поверхности в направлении, перпендикулярном ветру.

Так, как  $\varphi = 1,48$ , а  $\varphi_1 = 2,04$ , то

$$\frac{y}{x} = 1,48 \quad \frac{y_1}{x_1} = 0,27 \quad (6.17)$$

Расход воздуха в зоне струи II рода определяется по формуле



$$\begin{aligned}
Q_{II} = U_m L_{II} X_1 \left\{ 0,0023 \left[ -\exp\left(-7,64\left(1,48\frac{H_{1,2}}{X_1} - 0,27\right)\right) + \right. \right. \\
\left. \left. + \exp\left(-7,64\left(1,48\frac{H_{2,2}}{X_1} - 0,27\right)\right)\right] + \right. \\
+ 0,0914 \left[ \exp\left(3,82\left(1,48\frac{H_{1,2}}{X_1} - 0,27\right)\right) \sin\left(6,616\left(\frac{H_{1,2}}{X_1} - 0,27\right) + 0,193\right) - \right. \\
\left. \left. - \exp\left(3,82\left(1,48\frac{H_{2,2}}{X_1} - 0,27\right)\right) \sin\left(6,616\left(\frac{H_{2,2}}{X_1} - 0,27\right) + 0,193\right)\right] \right\} \quad (6.18)
\end{aligned}$$

где  $L_{II}$  – размер по дну карьера в направлении, перпендикулярном направлению ветра, м;

$H_{1,2}, H_{2,2}$  – расстояние от оси  $\theta_1 X_1$  соответственно первого и второго горизонтальных сечений, между которыми определяется расход воздуха в зоне струи II рода.

В формуле (6.18)  $H_{1,2} > H_{2,2}$ .

Вынос вредностей из карьера осуществляется ядром постоянной массы. Поступление вредностей в это ядро происходит на начальном участке из  $P_2 \theta P_1$  струи I рода, которая заполняется присоединенными массами. Ниже границы  $\theta P_1 B$  ядра постоянной массы примеси вредностей, которые поступили в воздух, находятся в циркуляционном движении.

При величине интенсивности выделения вредностей, которая стабилизировалась, их количество, которое поступает в атмосферу карьера, равняется количеству, которое выносятся из карьера ядром постоянной массы.

При рециркуляционной схеме проветривания (рис. 6.2.) значительная часть рабочих поверхностей карьера (подветренный борт, дно и часть наветренного борта) находятся в зоне действия рециркуляционных потоков.

При действии внешних источников вредностей в эту зону будет заноситься только часть от их общего количества, которое поступает в струю I рода, и именно та, которая находится в зоне присоединенных масс между линиями  $\theta P_1 B$  и  $\theta P_2 \theta_1$ , то есть то количество, которое проходит через сечение  $P_1 P_2$ .

При действии внутренних источников загрязнения, которые расположены на поверхностях  $\theta C P_3 \theta_1 B$ , все вредности будут поступать в зону рециркуляции. Примеси в этой зоне накапливаются до тех пор, пока их количество, которое выносятся в единицу времени из зоны рециркуляции в ядро постоянной массы, не станет равной общему количеству примесей, которые выделяются в единицу времени на участке  $\theta C P_3 \theta_1 B$ . После этого концентрация вредностей в зоне рециркуляции будет оставаться неизменной.

Концентрация вредностей равняется нулю на линии  $\theta A$ , которая совпадает с верхней границей свободной струи I рода. По мере углубления в карьер она возрастает и достигает максимального значения возле нижней границы струи (линия  $\theta \theta_1$ ), где скорость воздуха минимальна. В дальнейшем происходит сни-

жение концентрации на дне карьера до некоторой конечной величины, которая соответствует увеличению скорости воздуха в области, расположенной ниже границы  $00_1$  струи I рода.

Если также имеют место далеко расположенные от карьера внешние источники, то концентрация вредностей на линии  $0A$  будет равняться концентрации  $C_0$ , которая создается в приземном слое этими источниками вследствие равномерного перемешивания вредностей в приземной атмосфере на довольно значительном отдалении от поверхности. Соответственно увеличивается и концентрация примесей в карьере.

Рециркуляция воздуха в зоне  $0B0_1C0$  (рис. 6.2.) приводит к накоплению в ней вредностей, которые выделяются в карьере. Это в свою очередь связано с тем, что в зоне рециркуляции их концентрация оказывается значительно большей, чем в ядре постоянной массы  $A0B$ . Если иметь в виду, что зона рециркуляции составляет основную часть карьерного пространства, то становится очевидно, что при оценке частоты загрязнений атмосферы карьера необходимо прежде всего оценить состояние загрязнения атмосферы в зоне рециркуляции.

Рассмотрим процесс выноса вредностей из зоны рециркуляции при условиях непрерывного их поступления. Предположим, что в зону рециркуляции объемом  $V$ , непрерывно поступает  $G$  (мг/с) вредных примесей. За промежуток времени  $dt$  в зону рециркуляции поступит  $G dt$  вредных примесей. Если обозначить расход воздуха, который поступает в зону рециркуляции, через  $Q_p = Q_1 - Q_я$ , м<sup>3</sup>/с ( $Q_1$  – расход воздуха в струе I рода,  $Q_я$  – расход воздуха в ядре постоянной массы), а концентрацию вредностей в нем через  $C_n$ , то за время  $dt$  в зону рециркуляции поступит  $Q_p C_n dt$  вредностей. Одновременно из зоны рециркуляции будет вынесено  $Q k_3 C dt$ , где  $k_3$  – коэффициент турбулентной диффузии частично загрязненной зоны. Очевидно, что разность между количеством вредностей, вынесенных из зоны рециркуляции, и поступивших в зону вместе со свежим воздухом, за время  $dt$  будет равняться изменению их концентрации в зоне рециркуляции, то есть

$$G dt + Q_p c_n dt - Q k_3 c dt = V dc, \quad (6.19)$$

где  $c$  – текущее значение концентрации примесей;

$k_3 = k + (1 - k) c_n / c$ , где  $k$  – коэффициент турбулентной диффузии чистой струи.

К.З.Ушаков считает, что с некоторым приближением можно считать, что концентрация вредностей на границе свободной струи равняется средней концентрации в зоне рециркуляции.

Уравнение (6.19) можно записать в виде

$$\frac{dc}{Q_p k (c_n - c) + G} = \frac{dt}{V} \quad (6.20)$$

Если взять квадратуры

$$\int_{c_0}^{c_n} \frac{dc}{Q_p k (c_n - c) + G} = \int_0^{t_k} \frac{dt}{V}, \quad (6.21)$$

то концентрация в зоне рециркуляции с течением времени  $t_k$  станет равной

$$c_k = (G + Q_p k c_n - (G + Q_p k (c_n - c_0)) / \exp(Q_p k t_k / V)) / Q_p k \quad (6.22)$$

Если принять  $c_k = c_{\text{доп}}$  ( $c_{\text{доп}}$  - допустимая концентрация вредностей), то необходимый период времени для снижения концентрации вредностей к допустимой величине определится по формуле

$$t_k = (V / Q_p k) \ln((Q_p k (c_n - c_0) + G) / (Q_p k (c_n - c_{\text{доп}}) + G)) \quad (6.23)$$

Уравнение (6.19) можно записать в виде

$$\frac{dc}{dt} = \frac{Q_p k (c_n - c) + G}{V} \quad (6.24)$$

Если в зоне рециркуляции режим поступления и выноса вредностей стабильный, то

$$\frac{dc}{dt} = 0, \quad (6.25)$$

и концентрация вредностей в зоне рециркуляции определяется по формуле

$$c = c_n + \frac{G}{Q_p k}, \quad (6.26)$$

а необходимый расход воздуха для обеспечения допустимой концентрации

$$Q = \frac{G}{k(c_{\text{доп}} - c_n)}, \quad (6.27)$$

Количество вредных примесей, которые циркулируют в атмосфере карьера при стабильном процессе, зависит от объема зоны рециркуляции.

Для определения этой величины может быть использована зависимость, которая рекомендована С. С. Филатовым

$$q = 102 G V / X_{cp} U_0 L_k \quad (6.28)$$

где  $q$  – количество вредных примесей, которые циркулируют в атмосфере, мг;

$X_{cp}$  – среднее значение абсцисс отрезка внешней границы струи от точки ее отрыва к месту встречи с наветренным бортом, м;

$U_0$  – средняя скорость ветра, м/с;

$L_k$  – средняя длина карьера в направления ветра, м.

Величина коэффициента турбулентной диффузии для полуограниченной струи по В. М. Воронину

$$K = 0,16 \alpha L_k / h_p, \quad (6.29)$$

где  $h_p$  – высота воздушного потока, который принимает участие в проветривании карьера (активного слоя), м.

Расход воздуха для проветривания карьера с целью обеспечения допустимого уровня загрязнения карьера будет составлять

$$Q = G h_p / 0,16 \alpha L_k (c_{don} - c_n) \quad (6.30)$$

$$h_s = Q_a / B_k U_o, \quad (6.31)$$

где  $Q_a$  – расход воздуха, который приходит над карьером в активном слое, м<sup>3</sup>/с.

$B_k$  – ширина карьера, м.

### 6.1.3. Рециркуляционно-прямоточная схема проветривания карьеров.

Такая схема возникает при наличии угла склона подветренного борта карьера  $15^{\circ}$  и более, при отношении размера карьера на уровне земной поверхности в направления ветра к глубине карьера 8...10 и более.

При этом внешняя граница приграничного слоя пересекает дно карьера или один из уступов подветренного борта.

В этом случае объемы карьера, которые прилегают к подветренному борту карьера, проветриваются по рециркуляционной схеме, а объемы, которые лежат за пределами зоны действия струи II рода – по прямоточной.

Рециркуляционно-прямоточная схема проветривания карьера приведена на рис. 6.3.

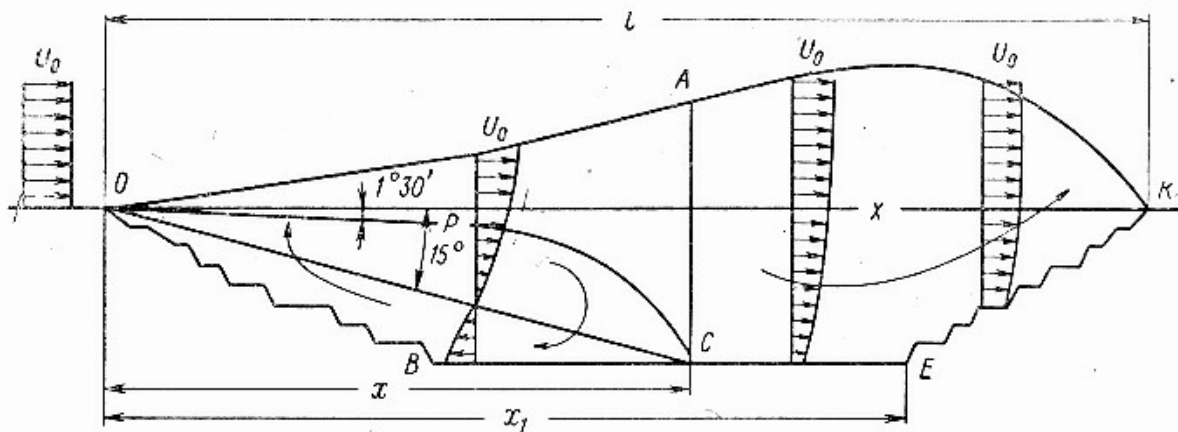


Рис. 6.3. Рециркуляционно-прямоточная схема.

В загрязнении общей атмосферы карьера принимают участие внутренние источники выделения пыли и газов, которые находятся в зоне рециркуляции, а также внешние, которые расположены из наветренной стороны карьера. Вредные примеси от источников, расположенных на участке карьера *ОВС*, при их

движении распределяются по всему сечению  $ACC$ , а также заносятся в другой объем карьера.

Распределение скоростей воздушного потока в зоне рециркуляции подчиняется закономерностям движения воздуха в турбулентных струях первого и второго рода, которые возникают при рециркуляционной схеме, а в другом объеме карьера (участок  $СК$ ) зависимости, которая занимает промежуточное положение между законами распределения скоростей в приграничном слое рециркуляционной схемы и слое деформации поля скоростей при прямоточной схеме. При большой протяжности карьера в направлении движения ветра эта зависимость переходит в закон распределения скоростей прямоточной схемы. Минимальная скорость потока имеет место в точке  $C$  и составляет  $(0,1 \dots 0,15) U_0$ .

При отделении от точки  $C$  к наветренному борту скорость воздуха возле дна карьера и поверхности уступов увеличивается и достигает своего максимума возле верхней бровки карьера, где она достигает значения  $U_0$ .

Источники образования загрязнений непрерывного действия могут привести к общему загрязнению атмосферы карьера в объеме зоны рециркуляции (участок  $ОСВД$ ). Это загрязнение распространяется и на другую часть карьера.

При маленьких скоростях ветра и большой интенсивности источников вредных выделений их количество может превысить предельно допустимые концентрации. Исходя из этого состав общей атмосферы карьера при рециркуляционно-прямоточной схеме следует оценивать по количеству вредных примесей в зоне рециркуляции.

В случае, если концентрации примесей в зоне рециркуляции не более, чем в 2 раза превышают предельно допустимые, то в другой части карьера они будут меньше их.

#### **6.1.4. Прямоточно-рециркуляционная схема проветривания карьеров.**

Эта схема возникает при промежуточном угле склона подветренного борта карьера, если имеет место равномерная отработка группы уступов верхней части борта с результирующим углом склона этой группы уступов  $\leq 15^\circ$  и отработка нижних уступов с результирующим углом склона этой группы уступов  $> 15^\circ$ .

Прямоточно-рециркуляционная схема проветривания карьера приведена на рис 6.4.

При такой схеме верхняя часть карьера в объеме  $ОО'К'КО$  проветривается в прямоточном режиме, а нижняя часть в объеме  $О'EDK''$  – в рециркуляционном.

Аэродинамические параметры определяются соответствующими зависимостями прямоточной и рециркуляционной схем.

Большим недостатком этой схемы проветривания является то, что движение воздуха в объеме зоны рециркуляции формируется ветровым потоком, который ослабляется при увеличении глубины.

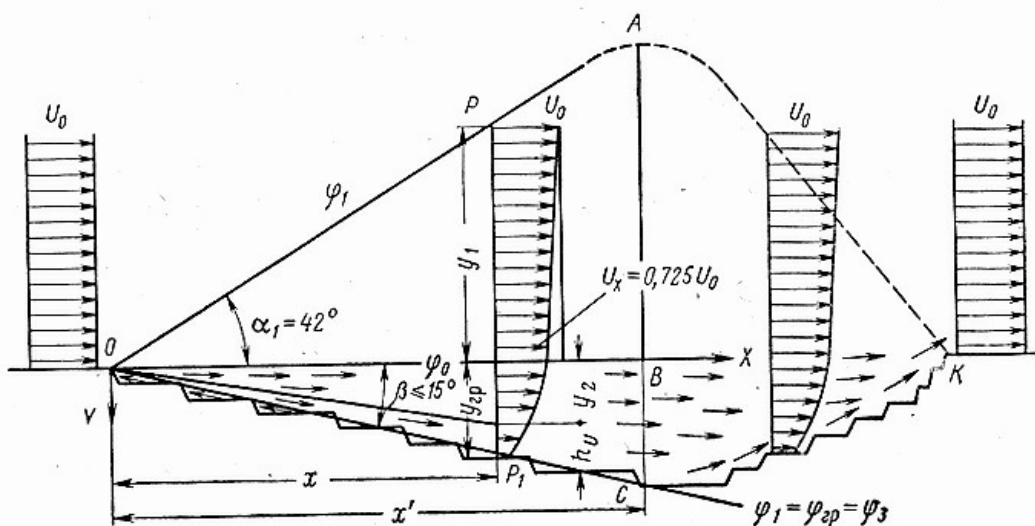


Рис. 6.4. Прямоточно-рециркуляционная схема.

Скорость воздушного потока в глубокой части карьера при ветре 5..6 м/с не превышает 1 м/с.

В загрязнении зоны рециркуляции принимают участие внутренние источники выделения пыли и газа, расположенные на участках карьера  $O'EDCB$  и  $OO'$ , а также внешние, расположенные из наветренной стороны карьера. Источники, которые расположены на участке  $OO'$ , по отношению к зоне рециркуляции являются внешними.

Состав общей атмосферы карьера должен оцениваться по количеству вредных примесей в зоне рециркуляции.

### 6.1.5. Определение параметров проветривания карьера, если температурная стратификация отличается от адиабатической.

Методика определения параметров проветривание ветровым потоком, которая описана в пунктах 6.1.1. и 6.1.2., разработана для адиабатической стратификации атмосферы в карьере, то есть для случая, если термические силы не совершают препятствия вертикальному перемещению воздуха.

В этом случае температурный градиент не равен  $1^{\circ}/100$  м вертикальной высоты для сухого воздуха, или  $0,6^{\circ}C/100$  м при насыщенном влагой воздуха.

Величины скорости и расхода воздуха должны уточняться по зависимостям

$$U_{\phi} = n U_a, \quad (6.32)$$

$$Q_{\phi} = n Q_a, \quad (6.33)$$

где  $U_{\phi}$  и  $Q_{\phi}$  – фактические величины скорости и расхода воздуха;

$U_a$  и  $Q_a$  – величины скорости и расхода воздуха при адиабатической стратификации атмосферы.

При прямоточной схеме проветривания

$$U_a = U_{np} - \text{формула (6.1)}$$

$$Q_a = Q_{np} - \text{формула (6.7)}$$

При рециркуляционной схеме  $U_a = U_I$  (формула 6.9) или  $Q_a = Q_{II}$  формула (6.10.), или  $U_a = U_n$  (формула 6.13), или  $U_a = U_{вк}$  (формула 6.14),  $Q_a = Q_I$  (формула 6.14), или  $Q_a = Q_{II}$  (формула 6.18).

$n$  - переводной коэффициент, определяется при решении уравнения.

$$n^3 + a_1 n + a_0 = 0 \quad (6.34)$$

где  $a_1 = (2g \Delta Z / U_a^2) \cdot ((T_a - T_0) / T_0)$ ,  $a_0 = -\rho_a / \rho_\phi$ .

$g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\Delta Z$  - высота вертикального перемещения воздуха, м;

$T_a, T_0$  - соответственно температура воздуха, который перемещается адиабатически, и температура окружающего воздуха, К;

$\rho_a, \rho_\phi$  - плотность воздуха соответственно при адиабатическом и фактическом состоянии атмосферы в карьере, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность воздуха определяется по формуле

$$\rho = \frac{0,00348}{T_z} (P_z - 0,00375 n_0 P_{нн}), \quad (6.35)$$

где  $P_z$  - давление воздуха, Па;

$T$  - температура воздуха, К;

$n_0$  - относительная влажность воздуха, %;

$P_{нн}$  - парциальное давление водяного пара, насыщающего воздух при данной температуре, Па.

Давление воздуха на глубине  $Z$  определяется по формуле

$$P_z = P_0 \left( \frac{T_z}{T_0} \right)^{\frac{0,034z}{T_z - T_0}} \quad (6.36)$$

где  $P_0$  - давление воздуха на поверхности, Па;

$T_0, T_z$  - температура воздуха соответственно на поверхности и на глубине  $Z$ , К.

Корни уравнения (6.34) определяются по формулам

$$n_1 = A + B, \quad n_{2,3} = -((A+B)/2) \pm i((A-B)/2) 3^{0,5} \quad (6.37)$$

где  $A = (-a_0/2 + Q^{0,5})^{0,33}$ ,  $B = (-a_0/2 - Q^{0,5})^{0,33}$

$$Q = (a_1/3)^3 + (a_0/2)^2 \quad (6.38)$$

## 6.2. Проветривание карьеров энергией термических сил

Термические силы заметно влияют на проветривание карьеров при скорости ветра на поверхности не более, чем 2 м/с. При такой скорости в карьере устанавливается или конвективное или инверсионное движение воздуха в зави-

симости от температуры бортов, определяющих конвективную или инверсионную схемы проветривание карьера.

При конвективной схеме более теплые нижележащие слои воздуха поднимаются вверх и выносят с собою вредности.

При инверсионной схеме охлажденные слои воздуха двигаются вниз и увлекают с собой вредности в глубокую часть карьера. Проветривание карьера при этом практически не осуществляется. Наблюдается накопление вредных примесей в нижней части карьера, которое может привести к прекращению работ в карьере.

### **6.2.1. Конвективная схема проветривания карьеров**

Конвективная схема проветривания возникает при прогретых бортах карьера и маленькой скорости ветра на поверхности. Прогретые борта нагревают слои воздуха находящиеся над ними, после чего нагретый воздух начинает подниматься вверх, а на его место сверху опускаются холодные массы воздуха. Явление такого перемещения поясняется разной степенью нагрева отдельных объемов воздуха в одной и той же горизонтальной плоскости.

Общий прогрев бортов вызовет движение в объеме всего карьера. Кроме общекарьерных возникают конвективные потоки, которые вызываются разной степенью прогретости поверхности карьера. Причинами этого явления могут быть разная освещенность, поглощающая способность пород (разный цвет, их физические свойства), разный нагрев глубинным теплом, неодинаковые интенсивности окислительных процессов на поверхности и др.

К.З.Ушаков считает, что конвективный поток воздуха возникает при скорости ветра не более, чем 0,7...0,8 м/с, что отвечает удельной кинетической энергии ветрового потока на поверхности, которая приблизительно составляет 0,4 Дж/ м<sup>3</sup>. При уменьшении энергии ветрового потока (скорости ветра) конвективное движение воздуха в карьере усиливается. Это поясняется тем, что при энергии ветрового потока на поверхности, более, чем 0,4 Дж/ м<sup>3</sup>, в карьере развивается интенсивный турбулентный обмен воздуха. Турбулентный обмен оказывает содействие тому, что тепло, которое поступает в атмосферу карьера от его бортов, не накапливается возле них, а распространяется на весь объем карьерного пространства. Исключение составляет слой воздуха толщиной 1...2 м прилегающего непосредственно к поверхности уступов.

В случае равномерного прогрева бортов температура воздуха во всех точках карьерного пространства будет изменяться на одну и ту же величину.

Итак, поступление тепла от поверхностей карьера при условии интенсивного турбулентного обмена воздуха не изменяет температурный градиент карьерного воздуха, обусловленного его естественным сжатием при увеличении глубины, который равен адиабатическому градиенту (1<sup>0</sup>С/100м).

При уменьшении энергии ветра турбулентность, как и обмен воздуха в карьере, уменьшается. Вследствие этого слои воздуха, расположенные ближе к источникам тепла (поверхностям карьера), прогреваются более сильно, чем более отдаленные. При этом увеличивается вертикальный температурный гради-



ент карьерного воздуха, который начинает превышать значения указанного градиента, соответствующего безразличному равновесию атмосферы ( $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ). Это вызывает возникновение конвективных потоков воздуха, которое приводит к движению вверх. Так формируется конвективная схема проветривания карьера.

Поток тепла  $q$  по отношению к оси  $0Z$  составляет

$$q = c_p A_q (dt / dZ) \quad (6.39)$$

где  $c_p$  – теплоемкость воздуха при постоянном давлении;  
 $A_q$  – коэффициент турбулентной теплопроводности;  
 $t$  – температура воздуха.

Коэффициент  $A_q$  зависит от термодинамического состояния атмосферы, как и коэффициент турбулентной диффузии. Он возрастает при увеличении интенсивности турбулентного обмена воздуха в карьере.

Из формулы (6.39) видно, что при постоянном потоке тепла  $q$  от бортов увеличивается  $A_q$ , что связано с энергией ветрового потока. При этом уменьшается температурный градиент  $dt / dz$ .

При конвективной схеме проветривания карьера массы теплого воздуха поднимаются вверх не вертикально, а вдоль уступов, что обусловлено прижимающим эффектом более холодных масс воздуха, которые опускаются вниз. При этом, объем воздуха, который поднимается из карьера увеличивается вследствие его расширения. Наиболее мощные конвективные потоки наблюдаются возле верхних уступов.

Причинами образования конвективных потоков в карьере могут быть: солнечная радиация, внутренние источники тепловыделения (например, окислительные процессы и эндогенные пожары), глубинное тепло Земли, тепловыделение от работающего оборудования.

Главная роль в образовании конвективных потоков принадлежит солнечной радиации. При нагревании бортов солнечными лучами возникает перепад температур между грунтом и воздухом, который является причиной возникновения конвективного потока.

Это оказывает влияние также на естественный обмен воздуха в карьерном пространстве.

Количество тепла, которое поступает в единицу времени на единицу площади поверхности при любом расположении ее в пространстве определяется из формулы

$$S^l = S \cos \theta \quad (6.40)$$

где  $S$  – количество лучевой энергии, которое падает на поверхность, перпендикулярную к лучам;

$\theta$  – угол падения солнечных лучей (угол между лучами солнца и нормалью к облучаемой поверхности).

Величина  $S$  определяется непосредственными актинометрическими наблюдениями, или берется из таблиц. Величина угла падения солнечных лучей

зависит, как от положения Солнца, так и от положения облучаемой поверхности. Последняя определяется азимутом и углом наклона плоскости к горизонту.

Под азимутом понимают угол между плоскостью меридиана и плоскостью, которая проходит через нормаль к облучаемой поверхности.

Если использовать известную формулу из сферической тригонометрии, то

$$S^l = S \cos \theta = S[(\sin \phi \cos \beta + \cos \phi \sin \beta \cos \alpha) \sin \delta + (\cos \phi \cos \beta - \sin \phi \sin \beta \cos \alpha) \cos \delta \cos r - \sin \beta \sin \alpha \cos \delta \sin r] \quad (6.41)$$

где  $\phi$  – широта местности;

$\beta$  – угол наклона облучаемой поверхности;

$\alpha$  – азимут;

$\delta$  – склон Солнца;

$r$  – часовой угол Солнца.

Формула (6.41) позволяет определить величину инсоляции поверхности в общем виде, то есть может быть использована для решения любой задачи такого типа.

На величину инсоляции значительно влияет прозрачность атмосферы. По данным С.С. Филатова приблизительно 20% ослабляется за счет поглощения и рассеянию в атмосфере, и еще на 20...30% дополнительно ослабляется при наличии облачности. Некоторая часть радиации отражается от облучаемой поверхности и не принимает участия в ее нагревании.

Разность между суммарной и отраженной радиацией называется остаточной и определяется следующей формулой

$$B = S(1 - A_k), \text{ кКал/ (см}^2 \text{ г)} \quad (6.42)$$

где  $A_k$  – альbedo пород.

Абсолютная температура нагревания поверхности бортов карьера равняется

$$T = \sqrt[4]{\frac{S(1 - A_k)}{\sigma}} \quad (6.43)$$

где  $\sigma$  – постоянная величина, которая равна  $8,26 \cdot 10^{-11}$  кал/ см<sup>2</sup> 0С.

Если определить температуру грунта, а также воздуха, то можно рассчитать скорость конвективного потока, который обусловлен солнечной радиацией.

На рис. 6.5. приведена схема для расчета конвективного потока, который поднимается по борту карьера.

Средняя по сечению скорость воздуха в струе

$$V_{cp} = 0,533 \frac{v}{x} (Cr_x \sin \alpha)^{\frac{1}{2}} \quad (6.44)$$

где  $v$  – кинематическая вязкость воздуха;

$Cr_x$  – критерий Грасгофа.

$$Cr_x = \frac{gB'\Delta tx^3}{\nu^2} \quad (6.45)$$

где  $B'$  – коэффициент объемного расширения воздуха,  
 $t$  – разность температур между грунтом и воздухом.

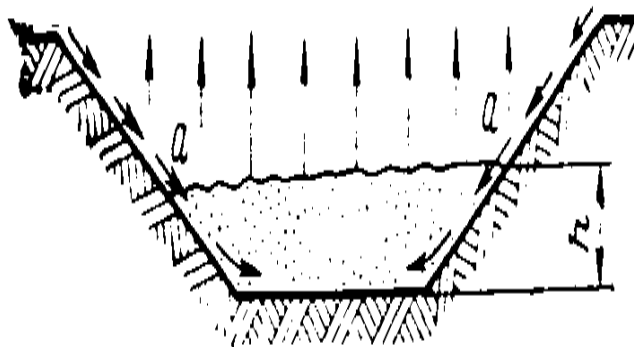


Рис. 6.5. Расчетная схема конвективного потока.

Максимальная скорость в сечении

$$V_{\max} = 2,1 \frac{\nu}{x} (Cr_x \sin \alpha)^{\frac{1}{2}} \quad (6.46)$$

Толщина приграничного слоя (струи)

$$\delta = 4,68X (Cr_x \sin \alpha)^{-\frac{1}{4}} \quad (6.47)$$

Расход воздуха в струе

$$Q = 2,5\nu B_k (Cr_x \sin \alpha)^{\frac{1}{4}} \quad (6.48)$$

где  $B_k$  – длина борта карьера в направлении, перпендикулярного к потоку.

### 6.2.2. Инверсионная схема проветривания карьеров

Для того, чтобы возникла инверсионная схема проветривания необходимо охлаждение бортов карьера и отсутствие значительного ветрового потока на поверхности. Скорость ветра не должна быть больше, чем 0,7...0,8 м/с. Скорость 0,7...0,8 м/с соответствует энергии ветрового потока 0,4 Дж/м<sup>3</sup>.

Увеличение энергии ветрового потока влияет на термодинамическое состояние атмосферы – повышается турбулентный обмен воздуха в карьере, а температурный градиент приближается к адиабатическому.

Уменьшение удельной кинетической энергии ветрового потока приводит к такой температурной стратификации, при которой слои воздуха прилегающие к холодным поверхностям бортов, охлаждаются в большей мере, чем отдаленные. Таким образом создаются условия для перемещения вниз более холодных (и более трудных) масс воздуха.

Инверсионное движение воздуха в карьере может возникнуть не только в случае охлаждения воздуха бортами карьера, но и при прохождении над карьером фронта холодного атмосферного воздуха. В этом случае потоки холодного воздуха поступают в карьер с поверхности. Прилегающие к бортам слои воздуха охлаждаются, и как более тяжелые, стекают вниз на дно карьера. Они проникают под слоями теплого воздуха, которые находились на дне карьера, и выжимают их. По мере развития инверсии высота слоя холодного воздуха в нижней части возрастает.

Если инверсия глубокая, то весь карьер может заполниться массами холодного воздуха.

На рис. 6.6. приведена инверсионная схема проветривания карьера.

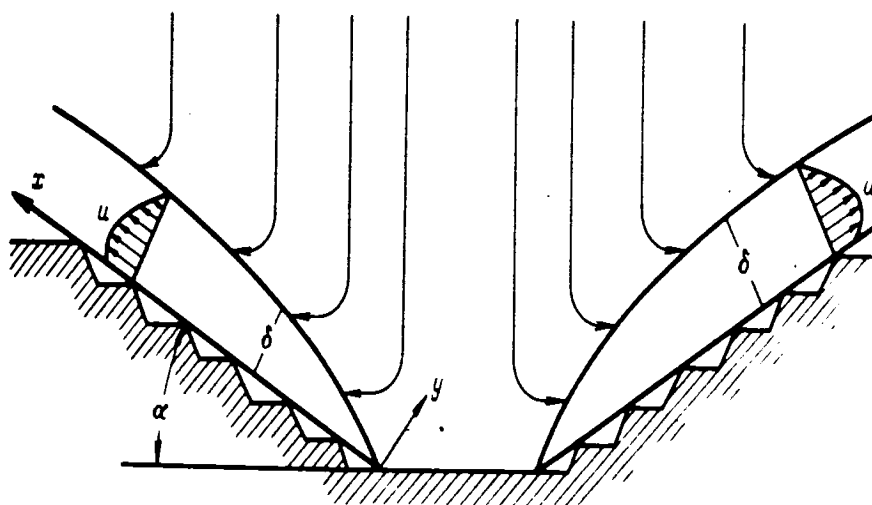


Рис. 6.6. Движение воздуха в карьере при инверсионной схеме.

Слой холодного воздуха, который заполняет карьерное пространство при инверсии, называется слоем инверсии. На рис. 6.6 его толщина равна  $h$ . Верхнюю границу слоя инверсии называют уровнем инверсии. На рис. 6.6 это линия  $a-a$ . Уровень инверсии приблизительно совпадает с уровнем, ниже которого возникает инверсия температуры, то есть отрицательный температурный градиент. Следует отметить, что при инверсионной схеме максимальная скорость воздуха возле поверхностей бортов не превышают 1 м/с. Эта скорость уменьшается в направлении потоков вниз, а под уровнем инверсии приближаются к нулю, то есть воздух находится в неподвижном состоянии.

Средняя скорость воздуха (м/с) на склоне борта карьера также может быть определена ориентировочно по формуле

$$U = 1,41k \sqrt{Hg} \sqrt{\frac{T_k - T}{T_k}} \quad (6.49)$$

где  $k$  – экспериментальный коэффициент, учитывающий уменьшение сил тяготения вследствие адиабатического нагрева от сжатия при перемещении его на более глубокие горизонты, влияние уступов и сил трения воздушного потока о слой неподвижного воздуха;

$H$  – высота от поверхности земли до слоя неподвижного воздуха или дна карьера, м;

$T$  – средняя абсолютная температура воздуха на поверхности земли близ карьера, К;

$T_k$  – средняя температура воздуха, который поступает в карьер, К.

Инверсии могут быть разной продолжительности в зависимости от условий.

Инверсии, которые являются следствием радиационного охлаждения бортов, обычно кратковременные. Они возникают в ночное время при безоблачной погоде и исчезают после восхода солнца.

Продолжительные инверсии могут существовать несколько дней. Они часто возникают в холодный период года, если радиационное охлаждение бортов превышает полученную ими инсоляцию. Такие инверсии существуют как в ночное время, так и днем. Продолжительные инверсии могут быть связаны также с прохождением над карьером холодного воздуха.

Режим движения воздуха при инверсионной схеме ламинарный, или близкий к нему. При таком режиме обмен воздуха в карьере затруднен, что обуславливает большое содержание газа и пыли в воздухе на значительном расстоянии от источника их образования.

При инверсионной схеме проветривания карьера вынос вредностей из карьера практически не происходит. Причиной этого является ограниченный обмен воздуха между слоем инверсии и вышележащими слоями воздуха.

В карьере, под уровнем инверсии накапливаются все вредности, которые образуются в карьере, как под уровнем инверсии, так и выше этого уровня.

В карьер поступают также вредности, которые образуются внешними источниками, их заносит ветровой поток, который продвигается от верхней бровки вдоль бортов карьера.

Под уровнем инверсии возникают особенно неблагоприятные санитарно-гигиенические условия. Концентрация газов и пыли также может значительно превышать предельно допустимые уровни. В этом случае возможны острые отравления токсичными газами. Безопасность работ может ухудшаться в связи с образованием туманной дымки, которая снижает видимость. Причиной образования такой дымки может быть значительное содержание газов и пыли в слое инверсии. Во время глубокой инверсии работы прекращаются, а люди выводятся из карьера на поверхность.

### **6.2.3. Комбинированные схемы проветривания карьеров**

Даже при достаточно сильном ветре на поверхности ветровой поток проникает в карьер на глубину не более, чем 150...200 м. Ниже этого уровня энергия ветрового потока становится незначительной и не оказывает существенного влияния на формирование воздушных потоков в карьере.

В этом случае воздушные потоки в карьере возникают под влиянием термических сил. Если один из бортов карьера охлажден, а другой по какой-то причине нагрет (например, вследствие горения полезного ископаемого), то возможно формирование конвективно-инверсионной схемы проветривания карье-

ра, при которой воздушный поток по одному борту будет двигаться вверх, а по другому вниз (инверсионное движение).

При значительной глубине карьера в его проветривании принимают участие как динамические, так и термические силы ветра. Ветровой поток, который возникает вследствие динамических сил, находится в верхней части карьера, а поток возникающий под влиянием термических сил – в нижней.

Значительное распространение на практике имеет место прямоточно-инверсионная схема, если в верхней части карьера имеют место прямоточные ветровые потоки, а в нижней части – конвективные потоки.

Фактически общее действие ветра и термических сил наиболее часто встречается при естественном проветривании карьеров. В этом случае формируется ветровая (прямоточная или рециркуляционная) схема движения воздуха. При этой схеме термические силы могут изменять режим проветривания.

Описанные выше основные положения теории ветрового потока в карьере в полной мере отвечают соответствующей действительности схеме лишь при адиабатической стратификации. Термические силы, которые возникают в карьере, могут усиливать вертикальное движение воздуха (в случае если реальные градиенты температуры являются больше адиабатических) или ослаблять, если реальные градиенты температуры меньше адиабатических.

В результате этого, перемещение вредностей в атмосфере карьера и их вынос из карьера будет проходить более или менее интенсивней, чем при адиабатической стратификации атмосферы в карьере.

Для оценки интенсивности выноса вредностей из карьера определяют коэффициент турбулентной диффузии свободной струи

$$K_{\phi} = n K_a, \quad (6.50)$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент турбулентной диффузии свободной струи проветривающей карьер при фактической стратификации атмосферы;

$K_a$  – то же самое при адиабатической стратификации;

$n$  – коэффициент определяемый при решении уравнения (6.34).

Как видно из формулы (6.10), чем больше температурный градиент, тем больше величина коэффициента турбулентной диффузии. В случае, если реальная атмосфера нестойкая (температурный градиент  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ )  $K_{\phi} > K_a$  и вынос вредностей из карьера будет более интенсивный. Наоборот, при стойком состоянии атмосферы (температурный градиент  $< 1^{\circ}\text{C} / 100\text{ м}$ )  $K_{\phi} < K_a$  вынос вредностей из карьера будет менее интенсивный.

При увеличении стойкости атмосферы карьера его проветривание ухудшается. Причиной этого может быть, как уменьшение поступления воздуха в карьер, так и ухудшение условий выноса вредностей из карьера.

## РАЗДЕЛ 7. ИСКУССТВЕННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ

Существуют три способа борьбы с вредностями в карьере:

1. Подавление вредных веществ непосредственно возле источников их выделения.
2. Естественная аэрация за счет динамических и термических сил.
3. Искусственная вентиляция.

Искусственная вентиляция карьера – это интенсификация воздухообмена в нем любыми целенаправленными действиями человека.

Целью искусственного проветривания может быть:

1. Разбавление и удаление вредностей на рабочих местах.
2. Проветривание застойных зон в штилевую или маловетренную погоду, или зон рециркуляции при ветровых схемах.
3. Проветривание карьерного пространства в целом, например, в периоды глубоких инверсий.

Существует два вида искусственного проветривания:

- 1) Вентиляция с использованием труб и горных выработок.
- 2) Вентиляция свободными струями, в том числе, с использованием струйных вентиляторов.

Основным видом является вентиляция свободными струями.

### 7.1. 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.

#### 7.1.1. Ориентация карьера в плане

Интенсифицировать воздухообмен в карьере можно ориентацией его длинной оси в плане по направлению господствующего ветра (если это позволяет расположение залежи полезного ископаемого). Из рис. 7.1, видно, что при этом объем зоны рециркуляции  $OAB$ , в которой воздухообмен менее интенсивен, чем в зоне прямого движения  $OB'CD$ , сравнительно небольшой.

Площадь зоны рециркуляции в плане (заштрихованная область) составляет примерно половину площади карьера. При ориентации карьера короткой осью по направлению господствующего ветра (рис. 17.1,6) объем зоны рециркуляции  $O'A'A''B'$  больше объема зоны прямого движения  $OB'C$ , а площадь зоны рециркуляции в плане (заштрихованная область) у рассматриваемо-

го карьера составляет 70—80 % его общей площади. В результате воздухообмен в карьере ухудшается.

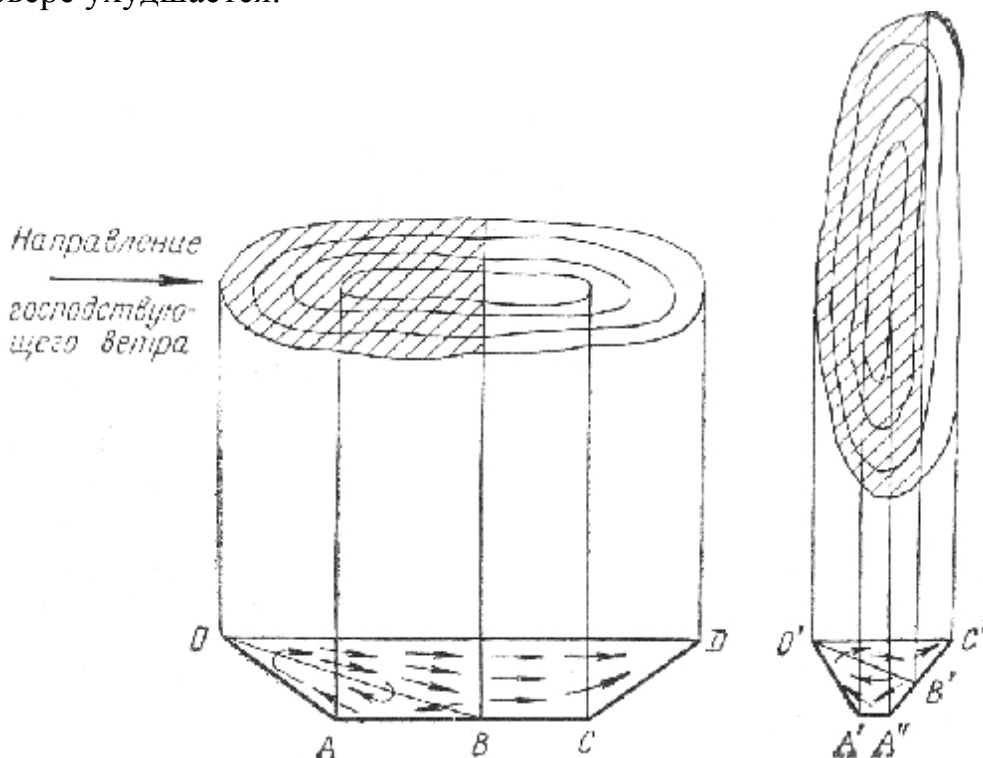


Рис. 7.1. Схемы, иллюстрирующие влияние ориентации карьера в плане относительно направления господствующего ветра, на воздухообмен в карьере

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.

### 7.1.2. Размеры карьера.

Соответствующий 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.

Интенсивность воздухообмена зависит от отношения глубины карьера  $H$  к его длине в направлении действия ветра  $L$ . При прочих равных условиях, чем меньше отношение  $H/L$ , тем карьер будет более «плоским» и лучше проветриваться. Н. З. Битколов предлагает считать карьер мелким, если  $0,1 < H/L < 0,2$ , средней глубины, если  $0,1 < H/L < 0,2$ , и глубоким, если  $H/L \geq 0,2$ . На рис. 7.2 показаны две стадии отработки карьера: при  $H_1/L=0,1$  и  $H_2/L=0,2$ . Как видно, с увеличением отношения  $H/L$  все большая часть карьера охватывается зоной рециркуляции (заштрихованная область), при  $H/L=0,3$  все нижние горизонты карьера попадают в эту зону.



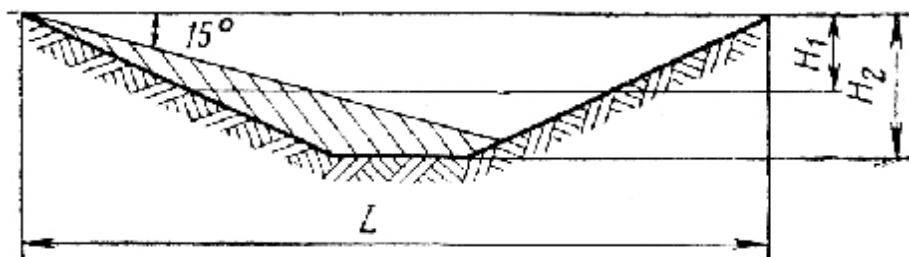


Рис. 7.2. Схема влияния отношения  $H/L$  на объем зоны рециркуляции.

### 7.1.3. Угол откоса и профиль борта карьера

Существенное влияние на воздухообмен оказывает уменьшение угла откоса бортов карьера.

Из рис. 7.3 видно, что при уменьшении его от  $\beta_1$  до  $\beta_2$  сокращается объем зоны рециркуляции на величину  $AOB$ . Дальнейшее уменьшение угла откоса может привести к установлению в карьере весьма эффективной прямоточной схемы проветривания.

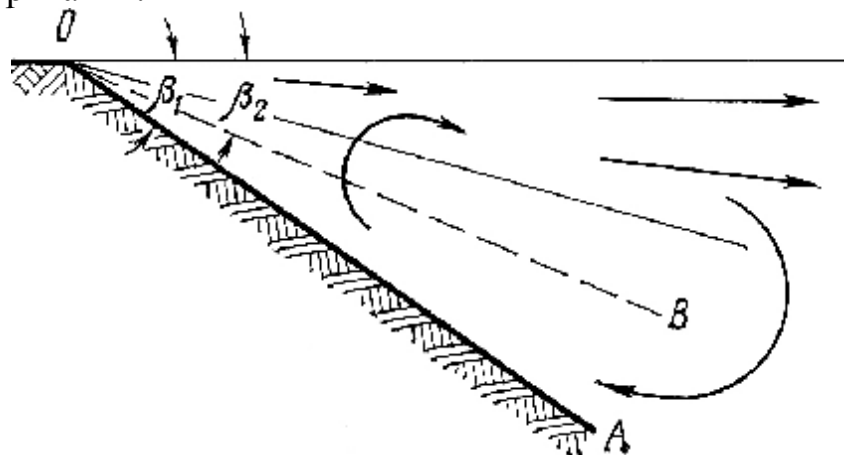


Рис. 7.3. Схема влияния угла откоса бортов карьера  $\beta$  на объем зоны рециркуляции

С этим обстоятельством связано предложение о придании 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  $15^\circ$  при линейном профиле борта карьера до  $30\text{—}45^\circ$  при скругленном, что приводит к уменьшению объема зоны рециркуляции.

### 7.1.4. Вентиляционные сооружения на поверхности

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. 7.4), позволяют увеличить скорость ветрового потока над карьером на  $10\text{...}20$

%. Хорошие результаты получаются при большем расстоянии  $l$  между отвалами, которое не должно превышать ширину карьера. Оптимальный угол  $\alpha$  между сооружениями равен примерно  $70^\circ$ .

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.

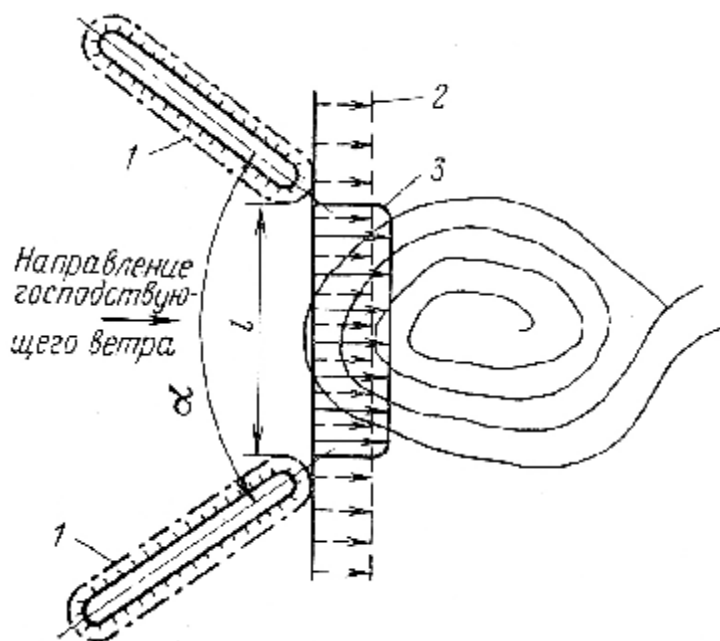


Рис. 7.4. Схема воздухозабора: 1 – отвалы; 2 и 3 – эпюры скорости ветрового потока над карьером соответственно при отсутствии и наличии воздухозабора.

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.

При естественном проветривании карьеров интенсификация может быть осуществлена установкой на поверхности, а также в карьерах специальных воздухонаправляющих сооружений. Например, по данным МГИ, установка направляющих щитов на верхней бровке борта карьера с наветренной стороны позволяет увеличить угол вхождения ветрового потока в карьер, на 15...20 % скорость ветра на входе и сохранить прямоточную схему проветривания при углах наклона бортов до  $50^\circ$ .

### **7.1.5. Изменение окраски обнажений горных пород на поверхностях карьера**

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).

Светлые покрытия охлаждают поверхность, т. е. в течение большей части суток тепловой поток направлен от воздуха к почве (воздух охлаждается), что способствует устойчивости атмосферы.

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.

### **7.1.6. Аккумуляция тепла в специальных резервуарах.**

Этот способ интенсификации естественного воздухообмена основан на накоплении тепла теплоносителями, находящимися в специальных резервуарах. Для этой цели, например, можно использовать металлические баки с водой. Теплоноситель аккумулирует тепловую энергию солнечной радиации в течение дня и затем отдает тепло воздуху в вечернее и ночное время, прогревая его и тем самым уменьшая опасность появления ночных инверсий.

### **7.1.7. Использование глубинного тепла горных пород.**

Известно, что с углублением в недра земли температура горных пород повышается. Тепло, содержащееся в массиве, можно использовать для нагрева воздуха в карьере для интенсификации воздухообмена и предупреждения развития инверсий. В связи с этим Н. З. Битколов предлагает проводить на некотором расстоянии от поверхности подземные выработки, по которым следует пропускать атмосферный воздух. При контакте с теплыми стенками выработки

воздух будет нагреваться и, поступая в карьер, способствовать прогреву атмосферы и улучшению воздухообмена в нем.

Количество тепла, вынесенное в карьер воздухом из выработки за время  $\tau$ , приближенно можно определить по формуле

$$Q = \eta \alpha (t_c - t_e) F \tau$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий теплопотери на выходе воздуха из выработки (прогрев приземных слоев горных пород и др.);

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;

$t_c$  – среднее значение температуры стенок выработки;

$t_B$  – среднее значение температуры воздуха в выработке;

$F$  – площадь стен выработки.

Следует, однако, иметь в виду, что со временем температура горных пород, окружающих выработку, снижается вследствие охлаждения их воздухом, в результате чего и эффективность этого способа будет снижаться. Для предупреждения этого предлагается в летний период подавать через выработки теплый воздух, который будет прогревать окружающие породы, тем самым вызывая аккумуляцию тепла в них. В зимний период это тепло будет использоваться совместно с природным теплом горных пород по описанной выше схеме.

### **7.1.8. Использование тепла подземных вод**

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.

## **7.2. Проветривание карьеров при использовании труб и горных выработок**

При этом способе искусственной вентиляции на бортах карьера располагают трубопроводы, или сооружают подземные выработки с поверхности к определенному борту или вплоть до дна карьера, по которым с помощью вентиляторов подается воздух.

Существует два способа проветривания с помощью вентиляторов:

1) нагнетательный;

2) всасывающий.

При нагнетательном способе чистый воздух забирается с поверхности или верхнего горизонта вентиляторной установкой и подается по трубопроводу или выработке в карьер, где расширяется в виде свободной струи. Вентиляторная установка может размещаться как на поверхности, так и любом месте по длине трубопровода (выработки).

На рис. 7.5 приведена схема проветривания карьера нагнетательным способом.

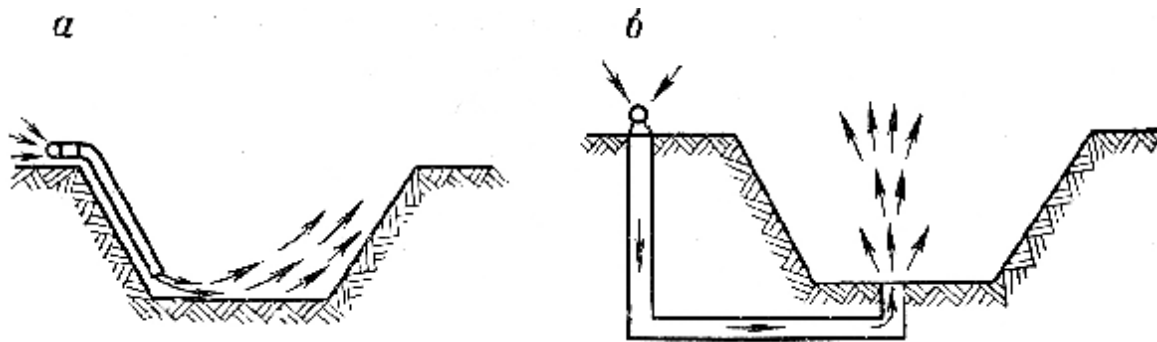


Рис. 7.5. Схема проветривания карьера нагнетательным способом.  
*а* и *б* – соответственно с применением труб и использованием выработок.

При всасывающем способе загрязненный воздух будет удаляться из карьера через трубы и выработки и выбрасываться за его границы.

На рис. 7.6 приведена схема всасывающего проветривания карьера.

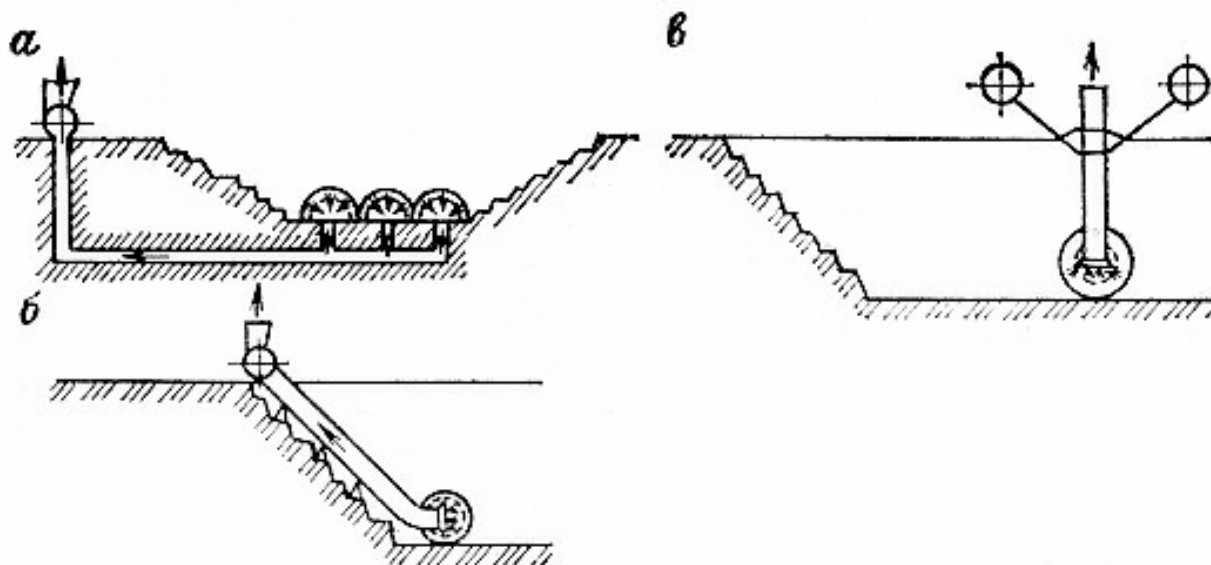


Рис. 7.6. Варианты всасывающего проветривания карьера:  
*а* – с использованием подземных выработок; *б* – через трубы проложенные по борту карьера; *в* – с использованием вертикальных труб поддерживаемых с помощью аэростатов.

При всасывающем способе рядом со стационарными установками для удаления загрязненного воздуха из нижних горизонтов возможно использование легких трубопроводов, которые подвешиваются на аэростатах. Тяга в трубах создается искусственным тепловым источником, или за счет нагрева стенок труб энергией солнца.

Преимущества нагнетательного способа:

1) Благодаря наличию потока со значительной скоростью воздуха на выходе из трубопровода происходит интенсивное вымывание вредностей на рабочем месте.

2) Быстрее заканчивается удаление вредностей и более равномерно происходит их растворение в атмосфере рабочих мест.

3) Через трубопровод на рабочее место поступает свежий воздух, который обеспечивает относительно быстрое его проветривание.

4) Имеется возможность использования гибкого трубопровода.

5) Возможно проветривание относительно больших объемов карьера, в сравнении с всасывающим способом.

6) Возможно использование имеющихся горных выработок (сооруженных во время добычи полезных ископаемых) для вентиляции карьеров.

7) Образование свободной струи на выходе из трубопровода (горной выработки) имеющей большую эжекционную способность, обеспечивающей засасывание значительных масс загрязненного воздуха.

8) Турбулентный режим движения воздуха создает интенсивное его перемешивание и более равномерное рассредоточение.

Недостатки нагнетательного способа проветривания:

1) Обдувание рабочих мест скоростным потоком может привести к простудным заболеваниям работников.

2) При большой скорости воздуха на выходе из трубопровода может сдуваться пыль, которая осела ранее на поверхности карьера.

3) Перемещение облака пыли и других вредностей по карьерному пространству, иногда с концентрацией превышающей предельно допустимую величину. В этих случаях вредности, которые вымываются с одного рабочего места, могут поступать на другие рабочие места.

4) На эффективность проветривания оказывает большое влияние наличие ветровых потоков в карьере.

Преимущества всасывающего способа проветривания:

1) Изолированный отвод вредностей от рабочего места. При наличии в карьере разветвленной системы аспирационных каналов, удаление вредных веществ возможно обеспечить непосредственно от мест их образования.

2) Загрязненный воздух, как правило, выбрасывается за границы карьера.

3) Отсутствие сдувания пыли ранее осевшей на грунт.

Недостатки всасывающего проветривания:

1) Незначительный радиус засасывания вредностей. В этом случае возникает необходимость расположения всасывающих устройств на близком расстоянии от источников образования вредностей (иногда не недопустимо близкое расстояние, например, в случае взрывных работ).

2) В ряде случаев возникает потребность в значительном количестве всасывающих установок.

3) Необходимость иметь жесткий (например, металлический) трубопровод, который уменьшает маневренность при его использовании и увеличивает трудоемкость работ.

4) Незначительная интенсивность снижения количества вредностей, и вследствие этого, большая продолжительность проветривания.

5) Значительные затраты на сооружение вентиляционной системы.

Одним из вариантов использования труб или горных выработок – это создание комбинированных систем проветривания, которые состоят из всасывающих трубопроводов (выработок) и свободных струй, ориентированных или

в направлении всасывания, или в направлении выхода струи из нагнетательного трубопровода. При всасывающем трубопроводе свободная струя позволяет расширить радиус зоны засасывания вредностей; при нагнетательном трубопроводе этот комбинированный способ позволяет использовать преимущества как нагнетательного способа, так и свободной струи. Так, при заборе чистого воздуха на поверхности появляется возможность проветривать рабочие места, даже если средняя загрязненность в карьере превышает допустимую величину. Свободная струя повышает эффективность проветривания, увеличивает скорость выноса вредностей от рабочего места, меняет направление перемещения загрязненного воздуха. Способ проветривания с использованием труб и горных выработок до настоящего времени не нашел широкого использования на отечественных карьерах в связи со значительными затратами на сооружение системы. Очевидно, что этот способ не будет применяться для общекарьерной вентиляции, в особенности для карьеров больших объемов. Так, при использовании для вентиляции грузо-людских стволов на Коркинском угольном разрезе при скорости в них воздуха 5 м/с через 10 часов из карьера было удалено лишь 1% воздуха от его объема. Однако, при интенсивной отработке карьерами месторождений полезных ископаемых этот способ может найти эффективное использование, в особенности при наличии подземных выработок, прежде сооруженных для другой цели (например, при открыто-подземной отработке месторождений, для осушения месторождений, для транспортных выработок, и др.). Кроме того, при использовании в подземной разработке вентиляторов местного проветривания вместе с гибким трубопроводом для вентиляции тупиковых выработок, затраты на создание вентиляционных систем могут быть сравнимы с затратами при вентиляции свободными струями.

### **7.3. Проветривание карьеров при использовании свободных струй**

Для создания свободных струй возможно использования установок трех видов:

1. Установки на базе вентиляторов.
2. Установки на базе авиационной техники.
3. Тепловые установки.

Для вентиляции карьеров могут использоваться обычные шахтные вентиляторы, а также специально сконструированные. Применяются турбовинтовые и турбореактивные двигатели, а также несущие винты вертолетов.

Тепловые установки базируются на принципе конвективного движения подогретых масс воздуха. Основными частями указанных установок являются тепловыделяющие элементы.

Свободные струи могут быть изотермическими и неизотермическими. Температура воздуха в изотермических струях не отличается или почти не отличается от температуры окружающего воздуха. Изотермические струи создаются установками на базе вентиляторов, а также установками, в которых используются авиационные винты, обычные дизельные или электрические двига-

тели. К таким установкам относятся, например, установки местного проветривания УМП-1, УМП-14, УМП-21.

Изотермические струи могут создаваться также мощными установками с турбовинтовыми авиационными двигателями, при условии отвода от них отработанных горячих газов от свободной воздушной струи, которая создается этими двигателями. Это имеет место, например, в установке НК-12КВ.

Величина перегрева воздуха в установках на базе вентиляторов или авиационных двигателей, не превышает нескольких десятков градусов, а перегрев в установках на базе турбореактивных двигателей достигает нескольких сотен градусов.

Неизотермические струи создаются установками АИ-20КВ, УВУ-1, НК-12КВ, а также тепловыми установками УТ-ЛФИ-2, УКПК-1, УПК 60/300. Установки, которые создают изотермические струи, более экономичны, затраты мощности на единицу объема воздуха значительно меньше. Параметры этих установок почти не зависят от температурных условий в карьере, а дальнобойность не зависит от температурной стратификации карьерной атмосферы. Наиболее сильное влияние на искусственно созданные тепловые потоки (конвективные струи) наблюдается при инверсионном состоянии атмосферы. Тепловые потоки прекращают свое существование после их охлаждения до температуре окружающей среды.

Был разработан специальный карьерный вентилятор ПВУ-6. Такие вентиляторы, к сожалению, имеют низкий коэффициент полезного действия по динамическому давлению, имеют большую массу, а значит и маленькую маневренность.

К установкам на базе турбовинтовых двигателей относятся АИ-20КВ. В установке АИ-20КВ использован двигатель самолета ИЛ-18, который устанавливается на платформе и перевозится автомобилем Краз-256. Установка предназначена для проветривания и уменьшения запыленности с использованием воды. Может также использоваться для нанесения покрытия на поверхности карьера, из которых поднимается пыль. Общий вид установки показан на рис. 7.7.

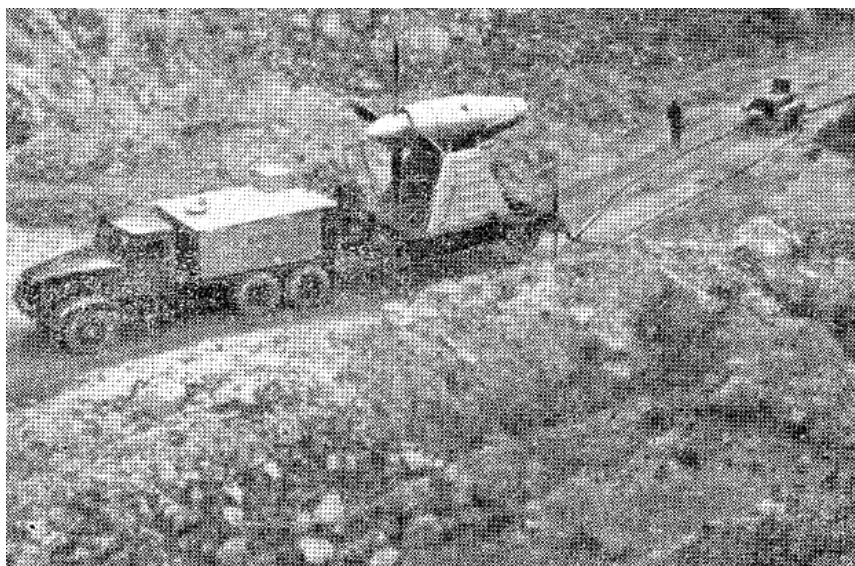


Рис. 7.7. Карьерная вентиляторная установка АИ-20КВ



Установка НК-12 КВ имеет двигатель самолета ТУ-114, установленный на ходовой тележке экскаватора, предназначена для вентиляции карьеров и застойных зон, объемом до 200 млн. м<sup>3</sup> и глубиной до 300 м, для подавления пыли воздушно-водными струями после массовых взрывов. Может применяться для ликвидации температурных инверсий. Общий вид установки НК-12КВ показан на рис. 7.8.

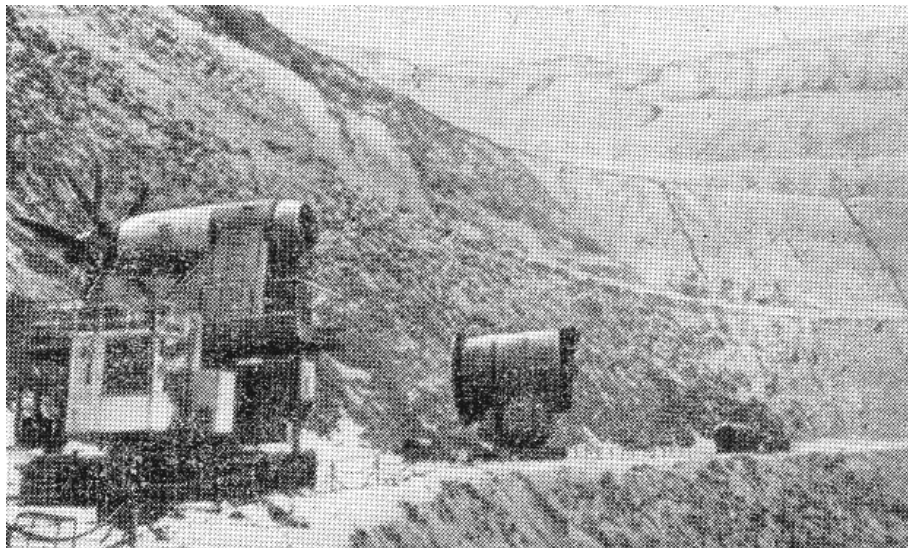


Рис. 7.8. Карьерная вентиляционная установка НК – 12КВ.

Установка УВУ-1 имеет двигатель самолета ТУ-104 на платформе автомобиля БЕЛАЗ-540, предназначенная для общекарьерной вентиляции (рис. 7.9).

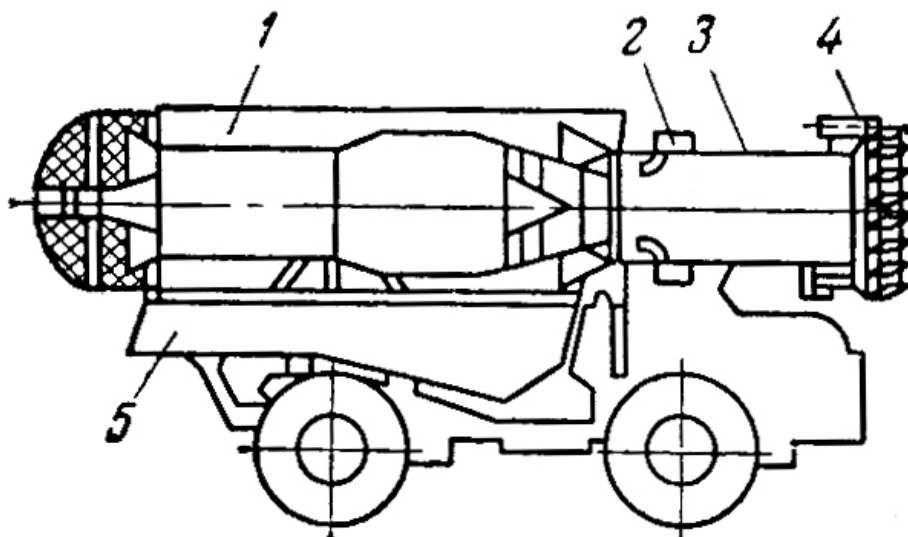


Рис. 7.9. Схема вентиляционной установки УВУ – 1:

1 – двигатель; 2 – форсунка; 3 – эжекторная насадка; 4 – отклоняющее устройство; 5 – цистерна с топливом.

К установкам местного проветривания относятся установки УМП-1, УМП-14, УМП-21.

Установка УМП-1 имеет четырехлопастной авиационный винт АВ-2, изготавливаемый серийно. Винт диаметром 3,6 м, установлен в передней части

автомобиля БЕЛАЗ-548А с дизельным приводом. Оснащен форсунками и гидромонитором. Форсунки предназначены для орошения взвешенной пыли, гидромонитор - для увлажнения массы, разрушенной взрывом, других поверхностей, а также для полива автодорог. Установка предназначена для вентиляции и дождевания застойных зон, объемом до 20 млн. м<sup>3</sup>, а также для нанесения покрытия на поверхности карьера, из которых поднимается пыль.

Общий вид установки УМП-1 показан на рис. 7.10.

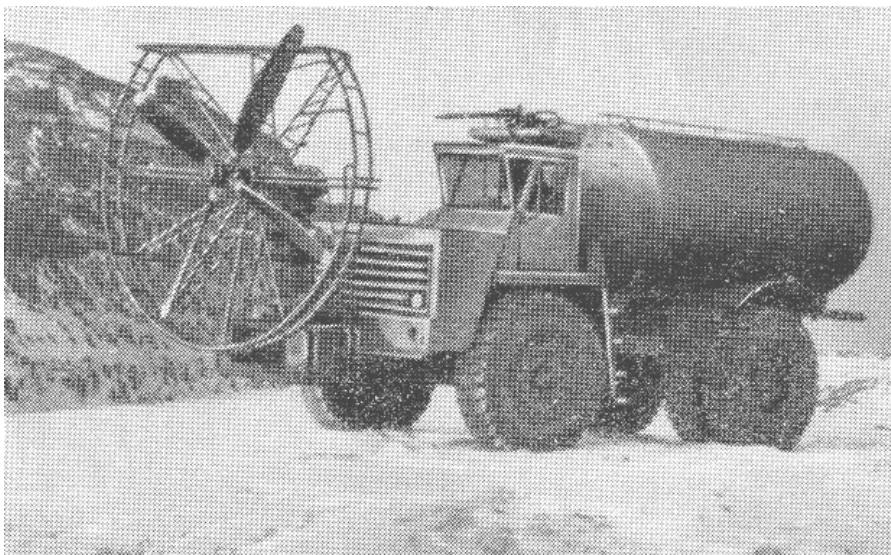


Рис. 7.10. Установка местного проветривания УМП – 1.

Установка УМП-14 имеет винт от вертолета МИ-14А, диаметром 14,4 м, образует вертикальную струю высотой до 200 м.

Установка УМП-21 имеет в своей основе несущий винт вертолета МИ-14, диаметром 21 м, дальность вертикальной струи достигает 400 м.

Установка УТ-ЛФИ-2 (рис. 7.11) имеет два ряда тепловыделяющих элементов, расположенных на металлической ферме (стреле), длиной 8 м, смонтирована на тракторном прицепе, использует дизельное топливо. Вертикальная дальность теплового конвективного потока достигает 500 м.

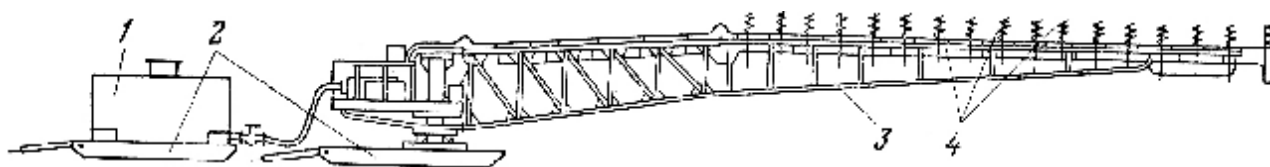


Рис. 7.11. Схема тепловой установки УТ – ЛФИ – 2:

1 – бак с горячим; 2 – тракторные прицепы; 3 – стрела-ферма; 4 - тепло-выделяющие элементы.

Установка УКПК-1 (рис. 7.12) изготовлена в виде вертикального цилиндра диаметром 10 м и высотой 5 м. Работает на дизельном топливе, вертикальная дальность до 300 м.

Установка УПК 60/300 - это газотурбинная установка с полнотой сгорания до 98%. Имеет 4 камеры сгорания, которые располагаются на автоприцепе с грузоподъемностью 40 т. Кабина состоит из двух отделов: оператора и машинного. Загальниц вид установки УПК 60/300 показанная на рис. 7.13.

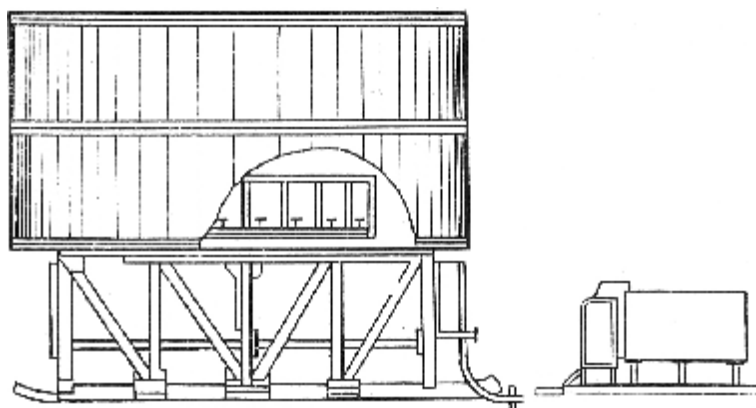


Рис. 7.12. Схема установки УПК – 1.



Рис. 7.13. Общий вид установки УПК 60/300.

Во время горения дизельного топлива в свободных факелах (например, в установке УТ-ЛФИ-2) часть топлива не принимает участия в горении и в виде тумана рассеивается вокруг установки. При продолжительной работе на одном месте вся близкорасположенная поверхность карьера покрывается слоем топлива. Установка не имеет кабины для оператора, поэтому при его постоянном присутствии одежда насыщается топливом. С учетом наличия мощной тепловой радиации от открытых горящих факелов топлива делает установку довольно опасной в пожарном отношении. Так, горение топлива на грунте под стрелой установки УТ-ЛФИ-2 наблюдается регулярно.

Тепловые установки целесообразно использовать при инверсионном состоянии атмосферы, так как они способны разрушить инверсионное распределение температур. Но если установка не в состоянии "пробить" слой инверсии и выбросить продукты сгорания за границы карьера, то они не только не провет-

ривают, а даже загрязняют атмосферу карьера благодаря большому количеству токсичных газов от сгорания значительного количества топлива. Кроме того, нижние горизонты тепловыми установками не могут проветриваться. Наверное, целесообразно одновременное использование конвективных и изотермических струй, при этом конвективные струи создают вертикальный поток воздуха, а изотермические струи транспортируют вредности по горизонтали к вертикальному потоку.

Инверсии быстрее разрушаются на верхних горизонтах. Для этого в начальный период уменьшают диаметр поверхности, которая выделяет тепло, чтобы сократить эжекцию холодных масс воздуха на низших горизонтах и подавать на верхние горизонты более теплый воздух. После разрушения инверсии на верхних горизонтах увеличивают диаметр поверхности, которая выделяет тепло, тем самым увеличивают эжекцию воздуха на низших горизонтах, которая приводит к увеличению выноса вредностей.

Большую часть времени потребность в свежем воздухе в карьере удовлетворяется за счет естественной аэрации. В периоды недостаточной активности естественной аэрации или полного штиля возникает дефицит свежего воздуха и он должен ликвидироваться средствами искусственной вентиляции.

В периоды продолжительного штиля, во время которого вредные примеси могут постепенно заполнить большую часть, или всю атмосферу карьера, возникает необходимость общего проветривания карьера, или использование специальных средств подавления вредных веществ в границах всего карьерного пространства. При общеобменной вентиляции осуществляется процесс активного замещения воздуха во всем объеме карьера. Но необходимость такой вентиляции возникает, как правило, лишь в исключительных случаях, например, после массовых взрывов в глубоких карьерах в неблагоприятных метеорологических условиях.

В подавляющем большинстве случаев в больших карьерах оказывается достаточным поддержание необходимой аэрации только в рабочих зонах, которые существенным образом снижают затраты на искусственную вентиляцию.

В маленьких карьерах (объемом 10...100 млн. м<sup>3</sup>) необходимость в общеобменной вентиляции возникает значительно чаще и ее осуществление не вызывает особой трудности. В СНГ есть опыт вентиляции карьеров объемом до 100...150 млн. м<sup>3</sup> при глубине до 250 м. Для общеобменной вентиляции больших и очень больших карьеров требуется создание технических систем, которые состоят из нескольких (до 5...6) вентиляторов. В СНГ была проведена практическая реализация первых экспериментальных систем общеобменной вентиляции больших карьеров на базе вентиляторов -оросителей НК-12КВ.

Схемы вентиляции свободными струями могут иметь цель:

1. Проветривание рабочих мест (схемы местной вентиляции).
2. Проветривание застойных зон, или зон рециркуляции.
3. Проветривание карьера в целом (схемы общеобменной вентиляции).

При этом иногда различают схемы по конечному результату:

1. Схемы, при которых загрязнения не выходят за пределы карьера.

2. Схемы, при которых загрязнения выходят за пределы карьера на поверхность.

При схемах без выброса загрязнения за границы карьера они рассеиваются средствами искусственной вентиляции во внутреннем пространстве. Такие схемы разрешаются в случаях, если общее загрязнение карьера не превышает  $1/3$  предельно допустимой концентрации. Они применяются в случаях местного загрязнения и достаточно чистом остатке атмосферы карьера. Это схемы местной вентиляции.

Схемы с выдачей загрязнения за границы карьера применяют при больших концентрациях примесей и больших объемах загрязненных зон, если попытки рассеяния загрязнений в атмосфере карьера приводят к значительному общему возрастанию его загрязнения без важного улучшения положения в местах первичного образования загрязнений. Такие схемы возможны при общих загрязнениях карьеров выше уровня ПДК и применяют при общеобменной вентиляции.

Ниже приводятся общие принципы конструирования схем искусственной вентиляции.

1. Для проветривания карьеров с использованием труб и горных выработок следует принимать нагнетательный способ, как более эффективный.

2. При проветривании застойных зон вентиляторные установки следует располагать в зоне чистого воздуха.

3. Энергия вентиляционной струи должна максимально использоваться во внутреннем карьерном пространстве. Ее потери вне границ карьера должны быть минимальными. Это обеспечивается тем, что скорость воздуха в струе на выходе из карьера не должна значительно превышать скорость, которая необходима для выноса из карьера вредных газов и пыли ( $0,25$  м/с - для газов,  $0,6$  м/с - для пыли). Кроме повышения эффективности проветривания в карьерном пространстве это уменьшает расстояние, на которое переносятся вредности за границы карьера. Оптимальным считают такое положение, когда выход струи за границы карьера не превышает  $15...20\%$  общей ее длины.

4. При общеобменной вентиляции в условиях общего загрязнения атмосферы карьера эффективность работы вентиляторной установки повышается, если направление вентиляционной струи не остается постоянным, а периодически искусственно изменяется с течением времени с целью максимального увеличения объема, который обрабатывается вентиляционной струей (такая схема носит название динамической схемы вентиляции).

5. При выборе местоположения вентиляционной установки необходимо учитывать форму карьера в плане. Струю целесообразно направлять вдоль длинной оси карьера. Если карьер имеет круглую форму, то следует принимать работу с периодическим изменением направления струи.

6. Необходимо учитывать направление и скорость ветра на поверхности. Чем меньший угол между направлением ветра и осью вентиляционного потока, который создает вентиляционная установка, тем больше будет эффективность проветривания. Упомянутый угол не должен превышать  $80^{\circ}$ .

### 7.3.1. Схемы местной вентиляции

При схемах местной вентиляции проветривают небольшие зоны загрязнения (экскаваторные забои, перегрузочные пункты, и т.п.), при которых возможно использование ВМП.

Вентиляторы выполняют две функции:

- 1) перемещают загрязнения в необходимом направлении от рабочего места;
- 2) рассеивают загрязнения в атмосфере карьера.

Местное проветривание применяют для предотвращения и локализации загрязнения. Проветривание может проводиться воздушными и воздушно-водными струями. Воздушные струи обеспечивают поддержание концентрации вредных веществ в воздухе на допустимом уровне путем разбавления или выноса их за границы проветриваемой зоны.

Воздушно-водные струи в процессе своего развития очищают воздух от пыли и растворимых газов, а в жаркий период года обеспечивают кондиционирование воздуха в застойных зонах карьера. Для местного проветривания карьеров наиболее широко используют серийные оросительно-вентиляционные установки УМП-1. Дальнебойность полуограниченной струи в сравнении с полной свободной струей увеличивается приблизительно на 30%, а расход воздуха при этом снижается на 25%.

Установки местного проветривания обеспечивают эффективную вентиляцию отдельных застойных зон и участков, объемом до 12 млн. м<sup>3</sup>. Предельные размеры проветриваемой зоны при фиксированном направлении воздушной или воздушно-водной струи составляют 350 м по длине и до 250 м по ширине. При использовании механизма поворота струи в горизонтальной плоскости, размеры проветриваемой зоны по длине не изменяются, а по ширине увеличиваются до 450...500 м. При размерах проветриваемой зоны значительно больше вышеуказанных, необходимо использовать несколько установок. В зависимости от геометрических размеров проветриваемой зоны, интенсивности и расположения источников пылегазовыделения принимается соответствующая схема проветривания.

На рис. 7.14. приведена схема проветривания одной горизонтальной или наклонной струей.

Проветривание застойной зоны может осуществляться системой вентиляционных струй, которая создается двумя или несколькими установками по параллельной или последовательной схеме. На рис. 7.11. приведено параллельное размещение установок.

На рис. 7.16. приведено последовательное (каскадное) размещение установок.

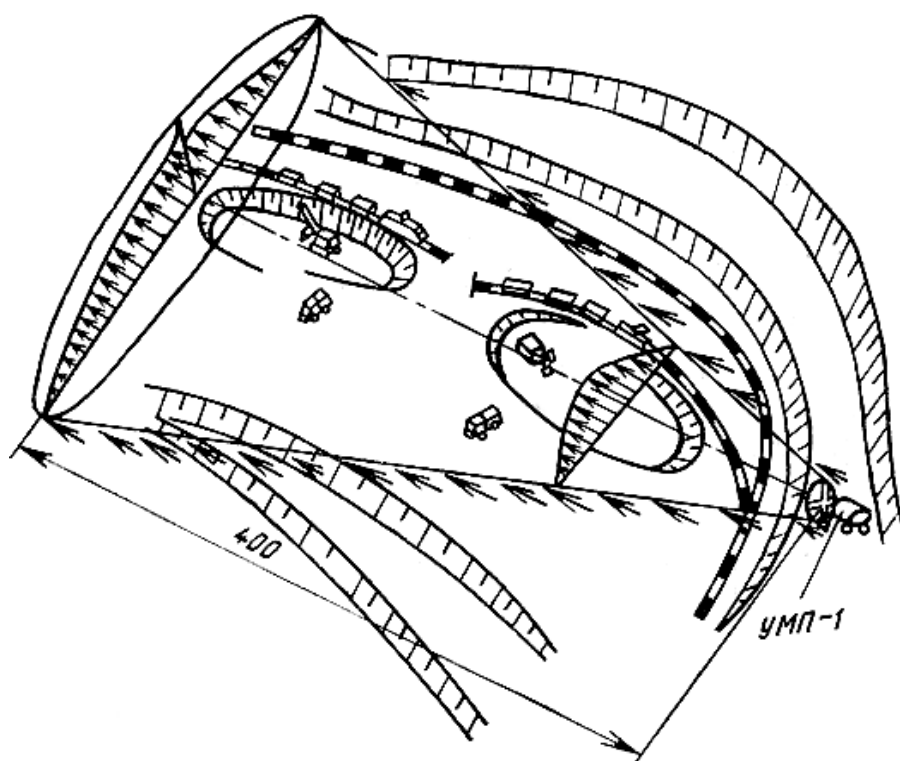


Рис. 7.14. Схема вентиляции и гидрообеспыливания застойной зоны одиночной струей.

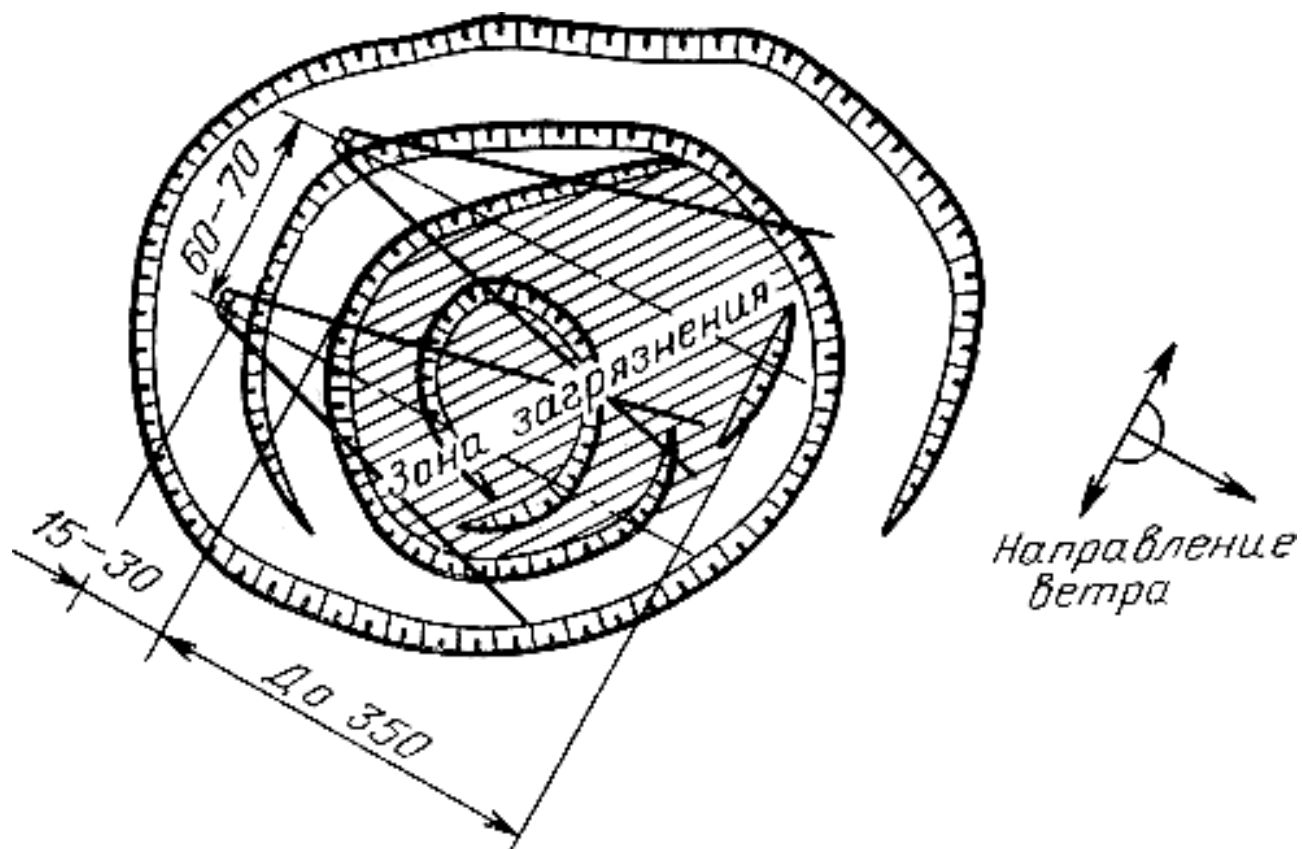


Рис. 7.15. Схема вентиляции застойной зоны карьера параллельными струями.

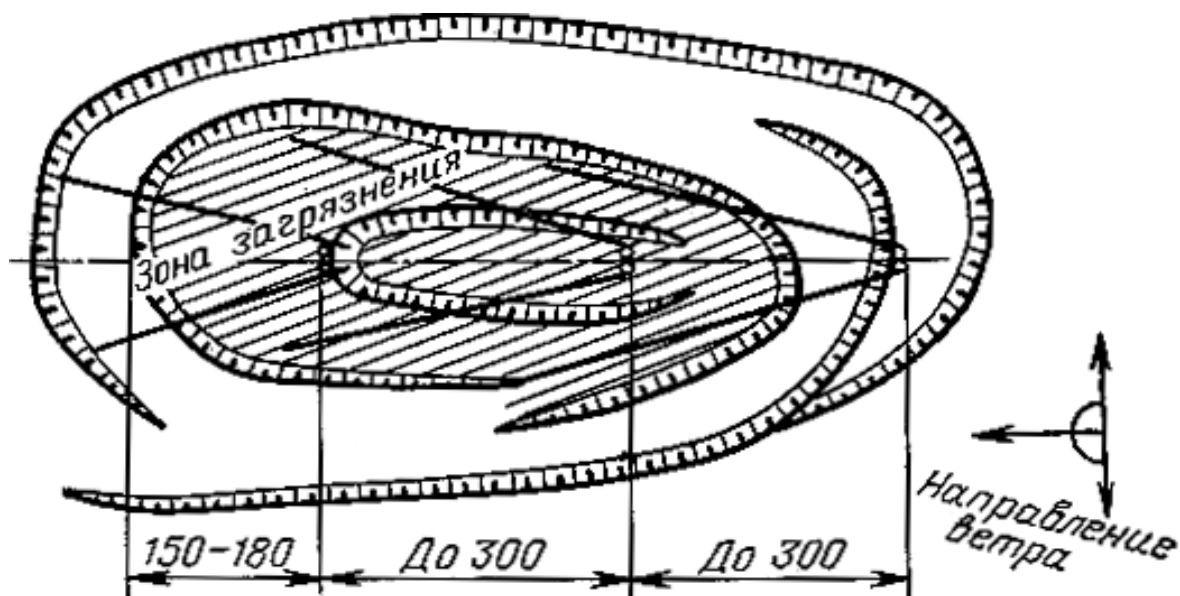


Рис. 7.16. Схема вентиляции застойной зоны карьера с помощью каскадно расположенных установок

Вентиляционные установки должны располагаться вне границ зоны загрязнения на один уступ выше, чтобы подавать свежий воздух. При каскадной установке вентиляторов может быть исключение, когда один вентилятор располагают в зоне чистого воздуха на один уступ выше, и остаток располагается в загрязненной зоне. Вентиляторы обеспечивают разбавление и вынос вредных веществ. При эпизодическом выделении вредных веществ (например, после взрыва) режим проветривания определяется из условия разбавления вредных веществ до ПДК за определенный промежуток времени. При непрерывном выделении вредных веществ режим работы вентиляторных установок принимается циклический, а именно, после снижения в проветриваемой зоне концентрации примесей до заданной величины, установки выключаются на период накопления вредных веществ до уровня ПДК, а потом снова включаются в работу. При эпизодических загрязнениях или при незначительной интенсивности выделения вредных веществ эффективным является их разбавление в границах карьера. При активном выносе вредных веществ из карьера вентиляторами всегда обеспечивается бесперебойная его работа при любой продолжительности штитового периода. Однако в этом случае необходимо иметь достаточно мощное вентиляционное оборудование и тратить значительные энергетические ресурсы.

Применение схем местной вентиляции определяется горно-техническими и метеорологическими условиями. Рассмотрим некоторые из них.

Для вентиляции небольших зон загрязнения (экскаваторные забои, перегрузочные пункты и т. п.) можно использовать передвижные вентиляторные установки на базе шахтных проходческих вентиляторов.

При этом вентиляторы выполняют две функции: перемещают загрязнения в требуемом направлении (от рабочих мест) и рассеивают их в атмосфере карьера. Последнее возможно, если атмосфера достаточно чистая и имеет необходимую подвижность, чтобы удалить загрязнения из карьера. До некоторой степени можно применять схемы вентиляции с рассеиванием загрязнений и при



незначительной подвижности атмосферы. В этом случае вредности, рассеиваясь, будут увеличивать общую загрязненность атмосферы. Длительность работы оборудования при этом определяется временем достижения опасного загрязнения атмосферы в целом.

Вентиляторы в рассматриваемых случаях могут располагаться на уровне рабочей площадки, верхних уступах или специальных фермах (рис. 7.17). Общим требованием при этом является подача вентилятором в проветриваемую зону чистого воздуха. Для этого вентилятор следует располагать вне зоны загрязнения. Если это невозможно вследствие ограниченной дальности свободной струи, создаваемой вентилятором, то для забора свежего воздуха вне зоны загрязнения или для его подачи в проветриваемую зону можно использовать вентиляционные трубы (см рис. 7.5).

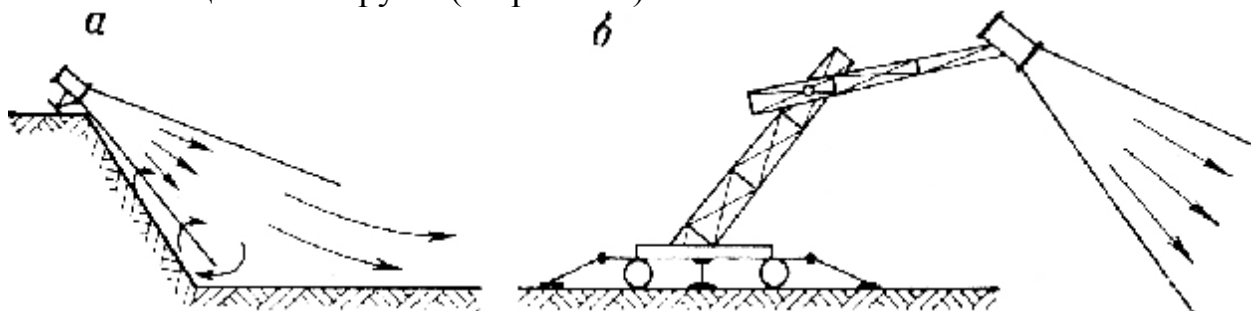


Рис. 7.17. Схемы расположения вентиляторов местного проветривания: а – на верхнем уступе; б – на специальной ферме.

Для интенсификации проветривания применяют нагнетательно-всасывающую схему вентиляции (рис. 7.18). При этом используют две вентиляторные установки, одна из которых работает как нагнетание, другая – на всасывание. При работе с использованием трубопроводов нагнетательная установка подает в проветриваемую зону чистый воздух, разбавляет загрязнения и перемещает их к всасывающей установке. Для перемещения только загрязненного воздуха при нагнетательной схеме применяется вентилятор без трубопровода и его располагают в зоне загрязнения со стороны противоположной всасывающей установки.

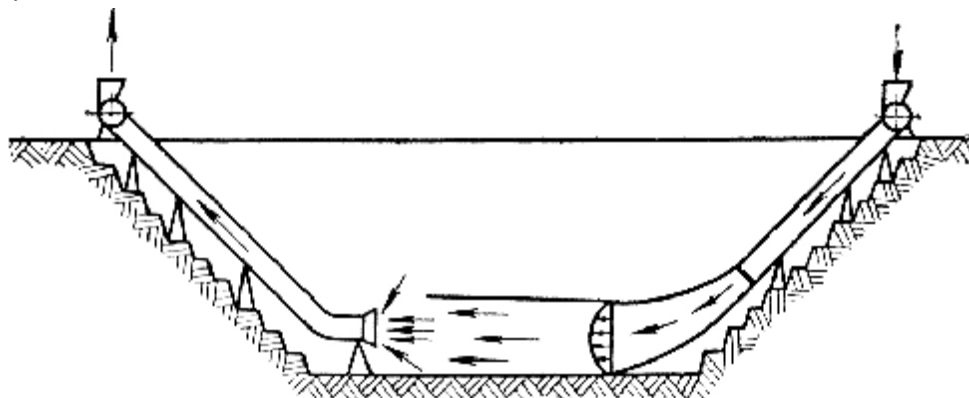


Рис. 7.18. Схема нагнетательно-всасывающей вентиляции вентиляторными установками с применением трубопроводов.

Вентиляторные установки располагают на таком расстоянии от загрязненных зон, на котором бы исключалась или была бы минимальной рециркуляция загрязненного воздуха. При этом необходимо учитывать направление и скорость ветра. Такие же требования предъявляются и к схемам вентиляции: при применении вентиляторных установок типа УМП-1, но без использования трубопроводов.

Для условий наличия ветра В.С. Никитин и Н.З. Битколов рекомендуют оригинальную схему вентиляции (рис. 7.19).

На первом этапе после взрыва вентиляторная установка, которая располагается с подветренной стороны по отношению к месту взрыва, действует на пылегазовое облако, которое приближается к установке, обрабатывает облако водовоздушной струей, подавляя пыль и растворимые газы. На втором этапе, после прохождения облака, установка действует в след облаку, которое отдалится, и рассеивает ее. Такая схема рекомендуется при взрывах незначительного количества ВР.

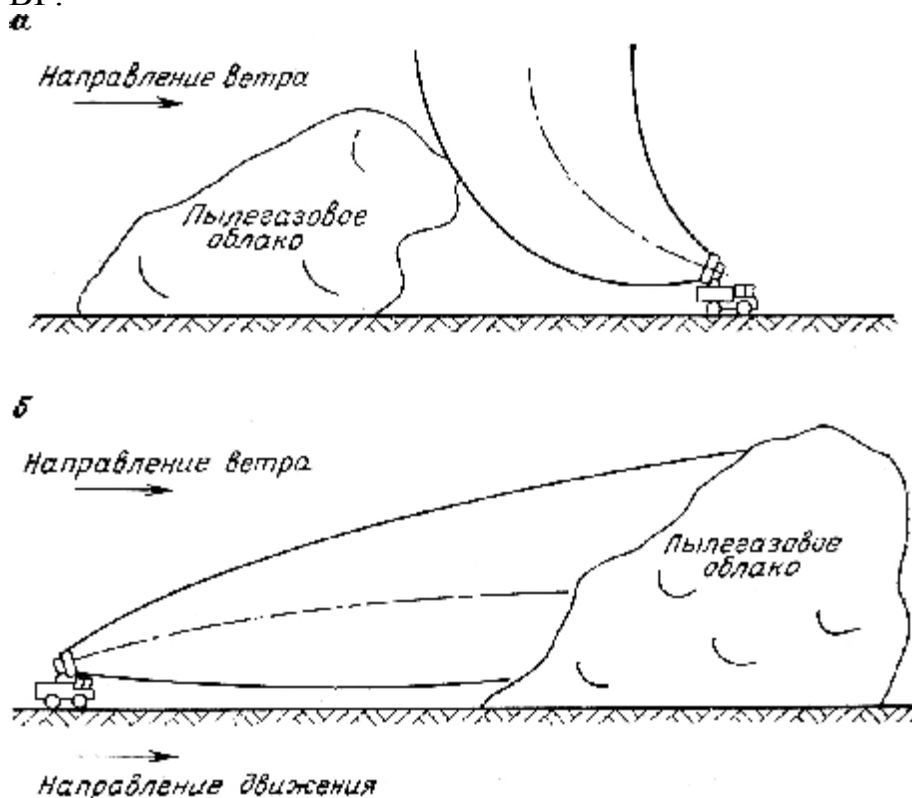


Рис. 7.19. Схемы проветривания пылегазового облака при ветре: а – с применением водовоздушной завесы; б – рассеиванием.

### 7.3.2. Схемы общеобменной вентиляции

При общеобменной вентиляции карьера могут применяться следующие схемы:

- 1) с использованием одиночных вентиляторов;
- 2) с использованием последовательно установленных вентиляторов;
- 3) с параллельной установкой вентиляторов;

4) с комбинированной установкой вентиляторов.

При общеобменной вентиляции выбранные схемы должны обеспечивать удаление вредностей из всего карьера. При одиночной и параллельной установке вентиляторов их дальность должна обеспечивать этот вынос. При последовательной установке вынос загрязнений производится через наклонную или вертикальную струю, которая выполняет в этом случае роль вертикального ствола. Все загрязнения карьера транспортируются к нему другими вентиляторными установками.

Схемы вентиляции при одиночной установке применяются при небольших размерах карьера. При неглубоких карьерах и прямоточной схеме проветривания вентиляторные установки могут размещаться на поверхности (рис. 7.20,а). Применение такой схемы является рациональным при длине карьера в направлении действия вентиляционной струи, не более, чем дальность струи. Вторым условием применения указанной схемы является незначительный уровень загрязнения атмосферы.



Рис. 7.20. Схемы вентиляции карьеров вентиляторной установкой.

При более глубоких карьерах вентиляционные установки (ВУ) целесообразно устанавливать на промежуточной берме, чтобы обеспечить активную вентиляцию нижней части карьера. Если карьер проветривается по рециркуляционной схеме (рис. 7.20,б), то ВУ должны располагаться или выше зоны рециркуляции, или в ее верхней части, где атмосфера достаточно чистая, а направление действия свободной струе должно совпадать с направлением основного движения воздуха в зоне рециркуляции, то есть должна быть противоположной направлению ветра на поверхности.

Если карьер проветривается по прямоточной схеме (рис. 7.20,в), то направление работы установки должно совпадать с направлением ветра на поверхности.

При глубоких ограниченных в плане карьерах, а также при значительной глубине зоны загрязнения, ВУ должна располагаться на дне карьера (рис. 7.21). При этом искусственная струя должна быть достаточно мощной, чтобы обеспечить вынос загрязненного воздуха из карьера.

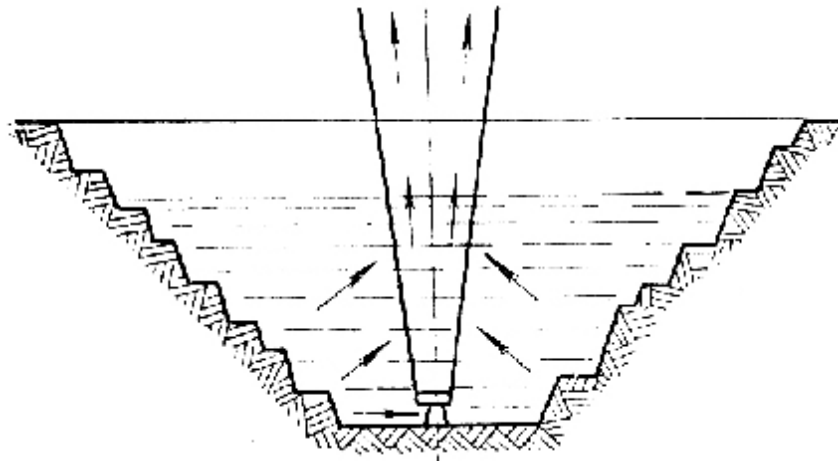


Рис. 7.21. Схема вентиляции карьера вентиляторной установкой, расположенной на дне карьера и создающей вертикальную струю.

В этом случае уровень загрязнения, как и уровень инверсии, снижается, а пространство над ним заполняется чистым воздухом. Необходимо чтобы горизонтальная скорость воздуха была достаточной для переноса вредностей. Если она недостаточна, необходимо переходить на схемы с общей работой нескольких ВУ.

Схемы проветривания с общей работой нескольких ВУ применяются при больших объемах зон загрязнения, если одна ВУ не обеспечивает эффективного проветривания.

Последовательная (каскадная) работа ВУ применяется для вентиляции узких щелевидных карьеров и траншей. В этом случае установки создают движение воздуха вдоль длинной оси карьера (рис. 7.22). Располагаются они на дне карьера, кроме первой, которую целесообразно устанавливать на вентиляционной берме. Для лучшего выноса вредностей последняя установка должна создавать струю, которая поднимается вверх. Расстояние между ВУ определяется их дальностью. ВУ должны размещаться так, чтобы каждая следующая ВУ захватывала максимальный объем вредностей, которые переносятся к ней предшествующей установкой.

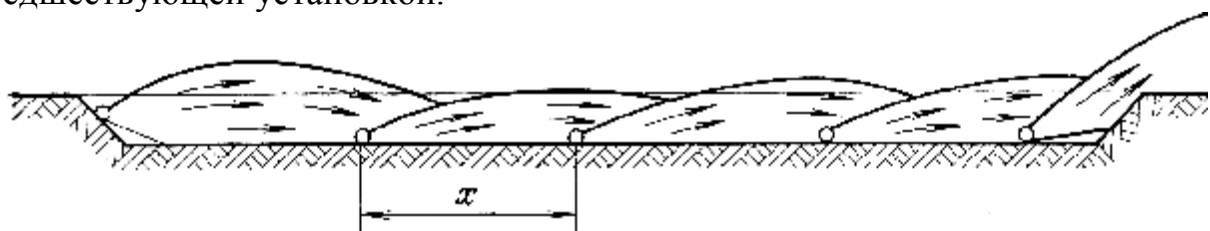


Рис. 7.22. Схема последовательной (каскадной) работы вентиляторных установок.

Если струя чистого воздуха распространяется в загрязненной среде, то максимальное количество вредностей будет на внешней границе, а минимальное - на оси. Наоборот, при поступлении в ВУ загрязненного воздуха, струя, которая распространяется в более чистой среде, имеет максимальную концентрацию вредных веществ на оси.

При вентиляции карьера, который имеет в плане овальную форму, применяют параллельную работу ВУ. При этом необходимо придерживаться требований, чтобы струя в границах карьера могла достичь максимального развития. Разновидностью параллельной работы ВУ является параллельно-веерная работа. В этом случае ВУ располагают таким образом, чтобы угол между осями сопредельных свободных струй был приблизительно равен или больше угла раскрытия струи ( $\approx 40^\circ$ ). В этом случае струи должны касаться между собою внешними границами. Такое расположение более эффективное, из-за того, что отсутствует мертвая зона. Эффективность параллельной работы ВУ повышаются, если возможно одновременное изменение направления всех струй, как это рекомендуется при работе одиночной установки. Считают, что эффективность вентиляции в этом случае увеличивается на 25...30%. В очень глубоких карьерах, если одна установка не обеспечивает образования мощной струи, которая бы вынесла загрязнения вверх, можно применить их каскадное размещение на борту карьера, через который выдается исходящая струя. Эта струя на выходе должна иметь достаточную скорость для выноса вредностей. Считают, что эта скорость должна быть не менее, чем 0,6 м/с. Пути струй, которые выходят из карьера, должны быть сориентированы таким образом, чтобы избежать возможности повторного попадания ранее вынесенных загрязнений снова в карьер. Это отрицательное явление может произойти в случае, когда направление ветра на поверхности изменится на противоположное, и часть загрязнений снова поступит у карьер.

На рис. 7.23 показаны варианты расположения вентиляторных установок пропеллерного типа, создающих горизонтальные и восходящие струи, рекомендованные С. С. Филатовым. Восходящие струи с углами наклона к горизонту до  $20^\circ$  могут создавать установки АИ-20КВ и НК12КВ, при этом вертикальная глубина карьера не должна быть больше соответственно 115 и 187 м. Вертикальные восходящие струи могут создавать или установки УМП-14, УМП-21, или тепловые, образующие конвективные струи.

При очень глубоких карьерах, когда одна установка не обеспечивает создание восходящей струи, способной удалять загрязнения, возможно каскадное их расположение на борту (рис. 7.24).

Необходимо иметь в виду, что восходящие струи должны иметь на выходе из карьера достаточную скорость для выноса загрязнений. Считается, что она не должна быть менее 0,6 м/с. Расположение восходящих струй относительно ветра на поверхности должно быть таким, чтобы исключить попадание выносимых загрязнений обратно в карьер. Например, если направление ветра (см. рис. 17.30) изменится на противоположное по сравнению с указанным, часть загрязнений, выносимых из карьера, вновь попадает в карьер. Чтобы не допустить этого, потребуется перемещение установок или изменение угла наклона струй, как это предусмотрено в конструкции установок УМП-14 и УМП-21.

На рис. 7.25 показаны варианты последовательной работы двух вентиляторных установок в глубоком карьере, предложенные Н. З. Битколоним и В. С. Никитиным.

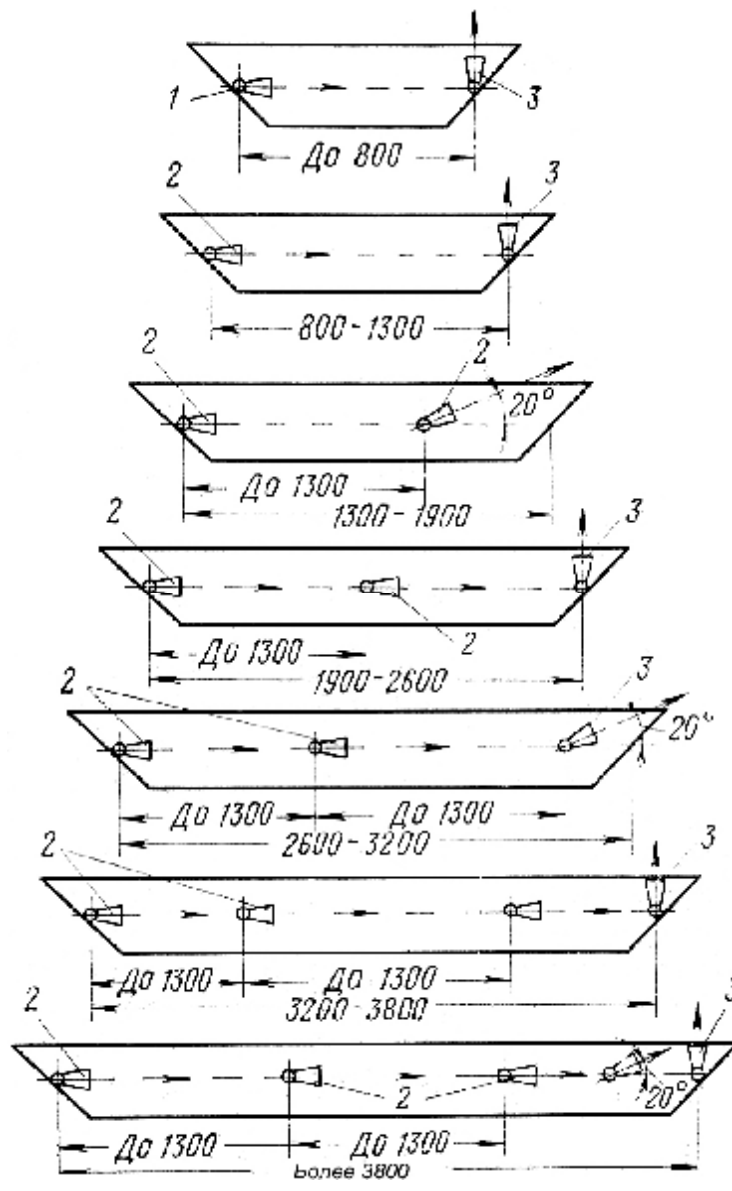


Рис. 7.23. Варианты схем общеобменной вентиляции карьера, осуществляемой последовательно работающими вентиляторными установками:  
 1 – АИ-20КВ; 2 – ИК-12КВ; 3 – УМП-14 (УМП-21)

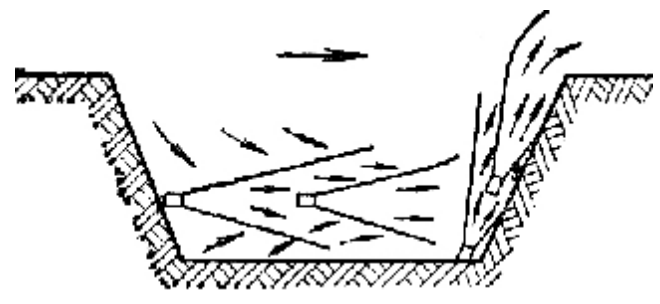


Рис. 7.24. Схема вентиляции глубокого карьера каскадными восходящими струями.

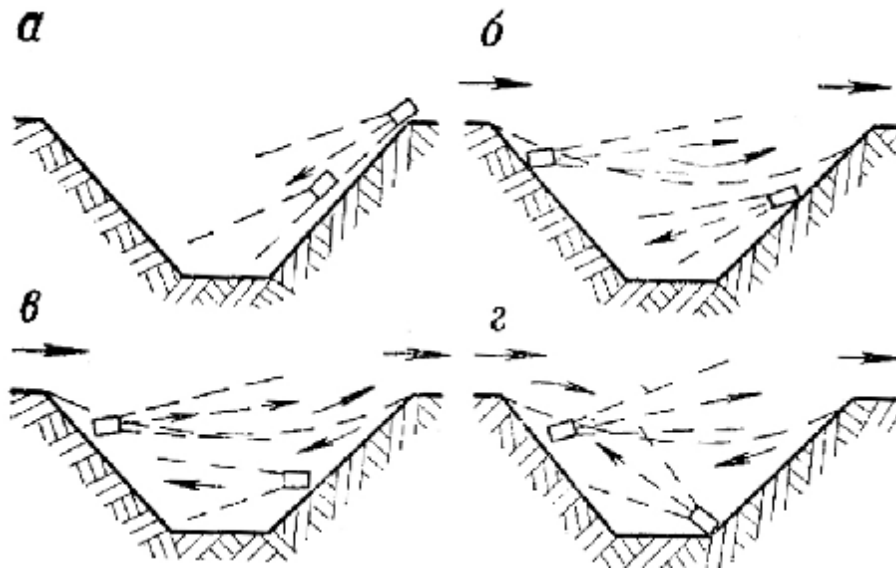


Рис. 7.25. Схемы вентиляции глубокого карьера двумя последовательно работающими вентиляторными установками.

При варианте *а* (см. рис. 7.25,*а*) подача чистого воздуха с поверхности в глубокую часть карьера производится при отсутствии ветра. В случае применения вариантов *б*, *в* и *г* (см. рис. 7.25,*б*, *в* и *г*) происходит интенсификация воздухообмена в зоне рециркуляции (на дне и нижних уступах карьера) при работе вентиляторных установок. Направление ветра на поверхности показано стрелками. Направление струи, создаваемой при работе установки в зоне рециркуляции, совпадает с направлением движения воздуха в этой зоне (см. рис. 7.25). Если размер карьера большой, число установок может быть увеличено.

Параллельная работа вентиляторных установок применяется при размерах зон загрязнений в плане, значительно превышающих поперечные размеры струй, создаваемых установками. При размещении установок необходимо выбирать места их расположения так, чтобы обеспечить максимальное (в пределах расчетной дальности) развитие струй. При веерном расположении установок угол между осями струй не должен превышать  $40^\circ$ . В любом случае струя, создаваемая вентиляторной установкой, и ветровой поток должны быть направлены в одну сторону, а угол между ними должен быть менее  $90^\circ$ .

На рис. 7.26 показана работа нескольких вентиляторных установок по веерной схеме («сходящийся» веер). При ветре, ориентированном в I четверти, работают установки 1, 2 и 3; при ветре в II четверти - 1, 2, и 5; при ветре в III четверти - 3, 4, и 5; при ветре в IV четверти - 2, 3, 4, и 5. В зависимости от направления ветра в границах каждой четверти некоторые из указанных ВУ могут не работать (например, при ветре, близком к северному, использование установки 3 нецелесообразно).

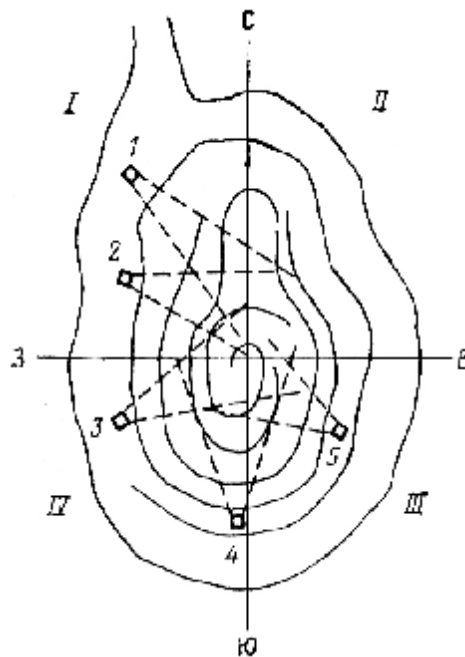


Рис. 7.26. Схема веерной работы ВУ.

Возможна комбинированная работа нескольких ВУ. Она используется тогда, когда не обеспечивается эффективная вентиляция только последовательной или параллельной работой ВУ. Например, возможна комбинация мощной вертикальной струи с несколькими горизонтальными струями, создаваемыми менее мощными установками для интенсификации переноса продуктов загрязнения в горизонтальной плоскости к вертикальной струе (рис. 7.27). Могут быть использованы и другие комбинации работы вентиляторных установок.

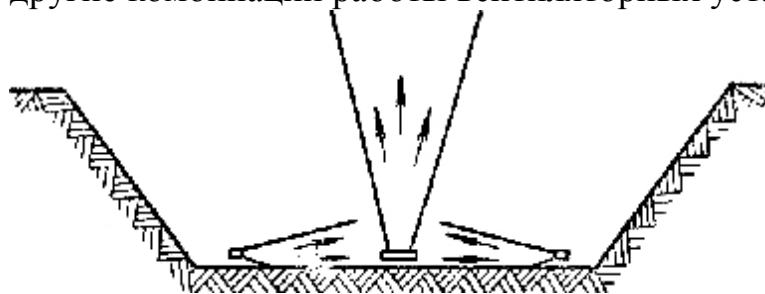


Рис. 7.27. Комбинированная схема вентиляции карьера вертикальной и горизонтальными струями.

Если карьер имеет подземные выработки, они могут быть также использованы для вентиляции. Более эффективна нагнетательная схема, когда свободная струя, образуемая после выхода воздуха из подземной выработки в карьер, быстро увеличивая расход по мере удаления от устья выработки, способна принять значительно больше загрязненного воздуха, чем подземные выработки, работающие на всасывание. Недостатком этих способов является невозможность подачи больших количеств воздуха по подземным выработкам.

Вентиляторные установки могут быть как стационарными, так и передвижными. Передвижные установки имеют те преимущества, которые позволяют их работу увязать с направлением ветра, а саму установку расположить близ места ведения основных работ, где эффективность ее использования будет



максимальной. При значительных местных загрязнениях следует использовать мобильные установки типа УМП и АИ-20КВ.

Процесс изменения (снижения) концентрации вредных веществ в карьере (застойной зоне) можно описать дифференциальным уравнением

$$\frac{dc}{dt} = \frac{\sum G + kQc_i - kQc}{V} \quad (7.1)$$

где  $k$  - коэффициент эффективности проветривания;  $k = 0,5 \dots 0,6$  при зафиксированном направлении проветривания и  $0,8 \dots 0,9$  - при сменном направлении.

При условиях проветривания карьеров ветровым потоком, для рециркуляционной схемы значения параметра  $k$  будут по порядку ниже.

Уравнение (7.1) решается методом разделения переменных

$$\frac{dc}{\sum G + kQc_i - kQc} = \frac{dt}{V}$$

Начальные условия: при  $t = 0$   $c = c_0$  ( $c_0$  - начальная концентрация вредных примесей).

После интегрирования получим

$$\frac{1}{Q} \ln \left( \frac{\sum G + kQc_i - kQc_0}{\sum G + kQc_i - kQc} \right) = \frac{t}{V} \quad (7.2)$$

При эпизодическом загрязнении необходимый отрезок времени для снижения концентрации вредных веществ до допустимой величины ( $c = c_{\text{доп}}$ ) при заданном расходе воздуха определяется формулой

$$t = \frac{V}{Q} \ln \left( \frac{\sum G + kQc_i - kQc_0}{\sum G + kQc_i - kQc_{\text{доп}}} \right) \quad (7.3)$$

Для определения расхода воздуха для проветривания при условии эпизодического загрязнения при заданном отрезке времени необходимо решить трансцендентное уравнение (7.2). За исключением некоторых случаев трансцендентные уравнения решаются, как правило, приближенно. С достаточной для практического использования погрешностью возможно использование наиболее простого приближенного решения - решение графическим способом.

В этом случае функция (7.3) заменяется двумя функциями

$$\varphi_1 = \frac{tQ}{V}, \quad \varphi_2 = \ln \left( \frac{\sum G + kQc_i - kQc_0}{\sum G + kQc_i - kQc_{\text{доп}}} \right).$$

Нахождение корня уравнения (7.3) упрощается, из-за того, что функция  $\varphi_1$  линейная. Построив графики функций  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ , находят корень уравнения (7.3), как абсциссу точки пересечения этих двух графиков. В случае необходимости приближенно полученный при графическом решении корень уравнения (7.3) можно уточнить

$$Q_{i+1} = Q_i - \frac{f(Q_i)}{f'(Q_i)}; \quad i=1,2,\dots,n.$$

где

$$f(Q) = \ln \left( \frac{\sum G + kQc_n - kQc_0}{\sum G + kQc_n - kQc_{дон}} \right) - \frac{tQ}{V}$$

Уравнение (7.3) позволяет найти концентрацию вредных веществ при заданном периоде времени проветривания и заданном расходе воздуха

$$c_k = \frac{\sum G + kQc_i}{kQ} - \frac{\sum G + kQc_i + kQc_0}{kQ \exp\left(\frac{tQ}{V}\right)} \quad (7.4)$$

При непрерывном выделении вредных примесей их концентрация может снижаться от допустимой к заданной величине.

Уравнение (7.4) решается также методом разделения переменных.

При интегрировании

$$\int_{c_{зад}}^{c_{дон}} \frac{dc}{\sum Q + kQc_i - kQc} = \int_0^k \frac{dt}{V}$$

где  $c_{зад}$  – заданная величина концентрации вредных веществ, до уровня которой снижается концентрация при проветривании.

Отрезок времени проветривания, необходимый для снижения концентрации вредных до заданного уровня определяется по формуле

$$t = \frac{V}{Q} \ln \left( \frac{\sum G + kQc_i - kQc_{зад}}{\sum G + kQc_i - kQc_{дон}} \right) \quad (7.5)$$

Расход воздуха, необходимый для снижения концентрации вредных от концентрации  $c_{доп}$  к  $c_{зад}$  также может быть найдена графическим путем.

При этом

$$\varphi_1 = \frac{tQ}{V}, \quad \varphi_2 = \ln \left( \frac{\sum G + kQc_i - kQc_{зад}}{\sum G + kQc_i - kQc_{дон}} \right)$$

Если искусственное проветривание будет непрерывным, то расход воздуха в этом случае будет определяться из уравнения (7.4).

Тогда

$$Q = \frac{\sum G}{k(c_{дон} - c_i)} \quad (7.6)$$

Условиям работы в карьере в наибольшей мере отвечают струйные вентиляторы. Основной их особенностью в отличие от промышленных и шахтных вентиляторов есть то, что они достигают максимальных к.п.д. при отсутствии внешнего аэродинамического сопротивления, так как работают с открытым нагнетательным сечением. Мобильность вентиляторов и их автономность позволяют создавать ими оптимальные условия проветривания застойных зон в карьере. Наибольшую универсальность имеют вентиляторы, которые создают изотермические воздушные и воздушно-водные струи переменного направления с рабочей дальностью сравнимой с размерами карьера.

Для вентиляции карьера используют также конвективные и неизотермические струи, источниками которых могут быть разнообразные тепловые гене-

раторы. Конвективные струи выполняют роль каналов, по которым удаляется воздух. Направлению движения неизотермических струй всегда может быть придана различная конфигурация. Неизотермическая струя может приобретать в карьерном пространстве наклон вниз параболической формы. При соответствующем профиле и размерах карьера такая форма струи может обеспечить активный вынос загрязненного воздуха за его пределы.

Уравнение оси струи в безразмерных координатах

$$\bar{y} = 0,94 \cdot Ar \left( \frac{\bar{x}}{\cos \alpha} \right)^2 \sqrt{a \frac{\bar{x}}{\cos \alpha} - \bar{x} \tan \alpha} \quad (7.7)$$

где  $\bar{y} = \frac{y}{c_0}$ ;  $\bar{x} = \frac{x}{c_0}$ ;  $\alpha$  - угол наклона оси струи к горизонту, град;

$a$  - коэффициент структуры струи.

Критерий Архимеда

$$Ar = g \frac{c_0 a_0}{v_0^2}$$

где  $g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$a_0$  - степень неизотермичности, которая определяется соотношением температуры в начальном сечении ( $T_0$ ) к температуре окружающей среды ( $T_n$ ), то есть  $a_0 = T_0 / T_n$ .

Уравнение (7.7) является универсальным.

При подъеме струи к горизонту перед вторым членом уравнения ставится знак плюс. При расчетах охлажденной струи ( $Ar < 0$ ) перед первым членом уравнения ставится знак минус. В случае, если  $\alpha = 0$  (ось сопла вентилятора горизонтальная), уравнение (7.7) принимает следующий вид

$$\bar{y} = 0,94 \cdot Ar \bar{x}^{-2} \sqrt{a \bar{x}} \quad (7.8)$$

Скорость на оси изогнутой струи

$$U_m = \sqrt{U_x^2 - U_y^2} \quad (7.9)$$

где  $U_x$  - горизонтальная составляющая скорости,

$$U_x = \frac{0,48 \cdot U_0}{\frac{x_0}{\cos \alpha} - 0,145}$$

где  $U_y$  - вертикальная составляющая скорости.

$$U_y = 0,73 \cdot U_0 \frac{Ar \bar{x}}{\cos \alpha}$$

Температура на оси струи

$$t_m = t_n + \frac{0,35 \cdot (T_0 - T_i)}{\frac{ax}{\cos \alpha} + 0,145} \quad (7.10)$$

где  $t_n$  – температура окружающей среды,  $^{\circ}\text{C}$ .

Температура струи в точке ее перегиба

$$x_m = 0,58 \cos \alpha \sqrt[3]{\frac{\sin^2 \alpha}{aAr^2}} \quad (7.11)$$

$$y_m = 0,35 \sin \alpha \sqrt[3]{\frac{\sin^2 \alpha}{aAr^2}} \quad (7.12)$$

Общим недостатком неизотермических струй является маленькая горизонтальная дальность и большие энергозатраты.

При использовании реактивных двигателей обязательным условием является выход струи за пределы карьера, так как токсичные компоненты их выхлопа будут накапливаться в атмосфере карьера и быстро приведут к недопустимого ее загрязнению.

Требования обязательного выхода вентиляционной струи за пределы карьера в полной мере относятся к конвективным струям, создаваемым тепловыми источниками базирующихся на сгорании разных видов топлива.

При достаточной мощности теплового источника конвективный поток является турбулентным и подобным неизотермической струе, которая поднимается вверх.

В конвективный поток поднимающийся вверх, эжектируется окружающий воздух, его расход увеличивается и формируется характерный для свободных струй профиль скоростей и температур.

Расчет конвективных компактных струй при распространении их в атмосфере с нераздельной температурной стратификацией ( $y = y_a$ ) можно выполнять согласно приведенным ниже формулам.

Скорость конвективного потока на высоте  $h$  относительно полюса струи составляет

$$U_z = \frac{0,82 \cdot q_0^{\frac{1}{3}}}{z^{0,29}} \quad (7.13)$$

где  $q_0$  - количество конвективного тепла, которое отдается источником, ккал/с;  
 $z$  - уровень поперечного сечения, м.

Расход воздуха в конвективной струе

$$Q_z = 0,13 \cdot z^{3/2} q_0^{1/3} \quad (7.14)$$

Количество стационарных ВУ, создающих горизонтальные и наклонные струи при их параллельном расположении, определяются по формуле

$$n = \frac{B}{k\epsilon}, \quad (7.15)$$

где  $B$  – ширина загрязненной зоны в направлении, перпендикулярном вентиляционной струе, м;

$k$  – коэффициент учитывающий зону действия струи в границах проветриваемого участка; (В.С. Никитин и Н.С. Битколов рекомендуют следующие его значения: для двух установок  $k = 0,6$ ; для трех и более установок  $k = 1,2...1,3$ );  
 $v$  – ширина вентиляционной струи на границе загрязненной зоны, м.

$$v = 6,8 a L + d_0, \quad (7.16)$$

где  $L$  – расстояние от вентиляционной установки до границы загрязненной зоны, м;

$a$  – коэффициент структуры турбулентной струи, равен  $0,007...0,008$ ;

$d_0$  – начальный диаметр струи, м.

Количество вентиляторных установок при их последовательной (каскадной) работе определяется по формуле

$$n = L_k / l \quad (7.17)$$

где  $L_k$  – длина каскада (расстояние от первой ВУ до конечного сечения струи последней установки) м;

$l$  – рабочая дальность одной ВУ, м.

$$l \leq d \frac{0,095 \left( \frac{U_0}{U_\delta} \right) - 0,145}{a} \quad (7.18)$$

где  $d$  – диаметр ротора вентилятора, м;

$U_\delta$  – средняя по сечению минимально-допустимая скорость потока (по условиям транспортирования пыли  $U = 0,6$  м/с;

$U_0$  – скорость струи в начальном сечении, м/с;

При параллельно-последовательной установке ВУ их количество определяется по формуле

$$n = n_k L_k / l \quad (7.19)$$

где  $n_k$  – количество каскадов в схеме.

При динамической работе ВУ (когда установка в процессе работы перемещается) их количество определяется по формуле

$$n = Q / q, \quad (7.20)$$

где  $Q$  – расход воздуха необходимый для проветривания загрязненной зоны, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – подача ВУ, м<sup>3</sup>/с.

При наличии в карьере ветрового потока расчет искусственного проветривания необходимо проводить с учетом этого потока. При выбранной вентиляционной установке и заданной скорости ветрового потока в карьере, скорость наложенного потока определяется по формуле

$$U_{\text{нак}} = \sqrt{U_{\text{в}}'^2 + 2U_{\text{в}}'U_{\text{вет}} \cos \beta + U_{\text{вет}}^2} \quad (7.21)$$

где  $U'_\beta$  – скорость ветрового потока в точке, где определяется скорость наложенного потока, м/с;

$\beta$  - угол между направлениями ветрового потока и потоком, который создается вентиляционной установкой, градус.

Величина  $\beta$  не должна превышать  $90^\circ$ .  $U'_\beta$  определяется по формулам, которые приведенные выше.

Скорость воздуха на оси потока вентиляционной установки определяется по формуле

$$U_m = 0,48U_{0cp} \sqrt{\frac{\beta_0}{\frac{\alpha_c L}{D} + 0,145}} \quad (7.22)$$

где  $\beta_0 = 0,9$  – коэффициент, учитывающий распределение скоростей воздуха в начальном сечении свободной струи;

$U_{0cp}$  – средняя скорость воздуха в начальном сечении свободной струи, м/с.

Скорость наложенного потока, которая определена по формуле (7.21), не должна быть меньше минимальной скорости воздуха, необходимой для выноса вредных веществ, то есть

$$U_{нак} > U_{min} \quad (7.23)$$

Скорость движения воздуха в наложенном потоке может определяться по средней скорости воздушного потока, созданного вентиляционной установкой

$$U_{нак} = \sqrt{U_\beta^2 + 2U'_\beta U_{cp} \cos\beta + U_{cp}^2} \quad (7.24)$$

Средняя скорость воздуха по площади сечения свободной струи

$$U_{cp} = 0,2 \cdot U_m \quad (7.25)$$

Расход воздуха в наложенном потоке для проветривания застойной зоны определяется

$$Q_{нак} = \frac{\pi b^2}{4} U_{нак} \quad (7.26)$$

$$Q_{нак} > Q \quad (7.27)$$

где  $Q$  – расход воздуха, определяемый по формуле (7.6).

Если неравенство (7.22) или (7.27) не выполняется, то необходимо выбрать вентиляционную установку с большей производительностью и потом повторить расчет.

Угол между направлением наложенного потока и направлением ветра определяется формулой

$$\begin{aligned} \gamma &= \arccos \frac{U_{\epsilon}'^2 + U_{\text{нак}}^2 - U_{\text{вен}}^2}{2U_{\epsilon}'U_{\text{нак}}} = \\ &= \arccos \frac{U_{\epsilon}' + U_{\text{вен}} \cos \beta}{\sqrt{U_{\epsilon}'^2 + 2U_{\epsilon}'U_{\text{вен}} \cos \beta + U_{\text{вен}}^2}} \end{aligned} \quad (7.28)$$

Из-за того, что скорость потока, получаемая с помощью ВУ, при увеличении расстояния от начального сечения уменьшается, изменяется также и угол между направлением наложенного потока и направлением ветра.

Угол между направлениями потока и ветра на расстоянии  $l_p$  от начального сечения определяется уравнением

$$\gamma = \frac{dl}{dx} \int_0^p \arccos \frac{U_{\epsilon}' + U_{\text{вен}} \cos \beta}{\sqrt{U_{\epsilon}'^2 + 2U_{\epsilon}'U_{\text{вен}} \cos \beta + U_{\text{вен}}^2}} dx \quad (7.29)$$

При прямоточной схеме проветривания карьера и изотермической ВУ уравнение (7.28) запишется в виде

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{d}{dx} \int_0^{l_p} \arccos[(U_{\epsilon} \cos(5,85 \frac{y}{x}) + \\ &+ [0,48U_{0cp} \sqrt{\beta_0} / (ax / D + 0,145)] \cos \beta) / [(U_{\epsilon} \cos(5,85 \frac{y}{x}))^2 + \\ &+ 2U_{\epsilon} \cos(5,85 \frac{y}{x}) [0,48U_{0cp} \sqrt{\beta_0} / (ax / D + 0,145)] \cos \beta + \\ &+ [0,48U_{0cp} \sqrt{\beta_0} / (ax / D + 0,145)]^2]^{0,5}] dx \end{aligned} \quad (7.30)$$

Это позволяет использовать известную теорему, в соответствии с которой производная от определенного интеграла по его верхней границе равняется значению подинтегральной функции от верхней границы интеграла при  $y = \text{const}$

$$\begin{aligned} \gamma &= \arccos[(U_{\epsilon} \cos(5,85 y / l_p) + \\ &+ [0,48U_{0cp} \sqrt{\beta_0} / (al_p / D + 0,145)] \cos \beta) / [(U_{\epsilon} \cos(5,85 \frac{y}{l_p}))^2 + \\ &+ 2U_{\epsilon} \cos(5,85 \frac{y}{l_p}) [0,48U_{0cp} \sqrt{\beta_0} / (al_p / D + 0,145)] \cos \beta + \\ &+ [0,48U_{0cp} \sqrt{\beta_0} / (al_p / D + 0,145)]^2]^{0,5}] \end{aligned} \quad (7.31)$$

## РАЗДЕЛ 8. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ КАРЬЕРОВ

### 8.1. Общие сведения

Технический проект разработки месторождения полезного ископаемого открытым способом должен иметь специальный раздел «Проектирование вентиляции карьера», в котором дается оценка аэрологического состояния карьера и производится выбор средств и способов улучшения атмосферных условий, позволяющих обеспечить нормальные санитарно-гигиенические условия труда. Проект должен учитывать влияние многих факторов на запыленность и загазованность воздуха, так как они являются определяющими для выбора комплекса мероприятий, направленных на улучшение состава атмосферы карьеров.

Проект вентиляции карьера состоит из двух основных частей: оценки эффективности естественного проветривания карьера и проектирования его искусственной вентиляции. Вторая часть проекта может отсутствовать, если эффективность естественного проветривания на всех периодах разработки обеспечивает поддержание нормального состава воздуха в карьере.

Оценка эффективности естественного проветривания карьера выполняется в определенной последовательности.

Вначале производится сбор и анализ исходных данных, определяющих атмосферные условия в карьере. К ним относятся данные о климате в районе заложения карьера, природных условиях местности и месторождения, технологии и механизации добычи полезного ископаемого. Эти данные систематизируются и оцениваются с точки зрения их влияния на состояние атмосферы в карьере. На этой стадии проектирования производится оценка различных вариантов отработки месторождения и при прочих равных условиях для дальнейшего рассмотрения принимаются те из них, при которых загрязнение атмосферы будет минимальным.

Затем приступают к оценке параметров естественного проветривания карьера. На этом этапе определяются схемы естественного проветривания для характерных периодов развития работ в карьере, различных направлений и скорости ветра. Результатом этого этапа проектирования является определение количества воздуха, необходимого для проветривания карьера в каждом периоде развития работ, и выяснение условий, при которых естественное проветривание карьера практически прекращается.

После оценки параметров схем естественного проветривания для принятой технологии и механизации добычи полезного ископаемого определяется количество вредностей, поступающих в атмосферу карьера. Эта оценка может производиться в несколько приемов: при отсутствии средств борьбы с пылью и газами на наиболее неблагоприятных участках и установках; при применении этих средств на всех участках и установках; при применении специально разработанных средств борьбы. Для неглубоких карьеров при благоприятных климатических условиях нормальный состав атмосферы карьера в целом и на рабочих местах может поддерживаться в течение всего года без специальных



средств борьбы с вредностями или с применением их на наиболее неблагоприятных участках производства. При глубоких карьерах, располагаемых в районах с неблагоприятными климатическими условиями, как правило, требуется применение всего комплекса средств борьбы с пылью и газами. Последнее может быть и необязательным на первых этапах их отработки. Однако окончательно необходимый комплекс средств борьбы определяется на следующих этапах проектирования.

Зная количество выделяемых в атмосферу карьера вредностей и количество воздуха, необходимого для его проветривания, для каждого характерного периода развития работ определяют загазованность и запыленность атмосферы карьера. На основе данных о загазованности и запыленности можно установить на каких периодах развития работ, при каких направлениях и скоростях ветра естественное проветривание не обеспечит поддержание в атмосфере карьера нормального состава воздуха. Эта оценка схем естественного проветривания и оценка условий прекращения проветривания, выполненная на предыдущем этапе, совместно с данными о направлении и скорости ветра в течение года, позволяют определить периоды в течение года, когда требуются средства искусственной вентиляции, а также масштабы их применения.

На данном этапе завершается оценка эффективности естественного проветривания карьера и начинается проектирование его искусственной вентиляции.

При первом этапе проектирования искусственной вентиляции карьера определяют возможность интенсификации естественного воздухообмена между внутрикарьерным пространством и атмосферным воздухом на поверхности.

Одновременно решается вопрос о возможных изменениях в технологии, механизации и последовательности работ, которые могут способствовать оздоровлению атмосферы карьера.

Когда возможности интенсификации естественного проветривания, а также изменения технологии, механизации и организации работ оказываются исчерпанными, приступают к проектированию собственно искусственной вентиляции карьера.

С учетом мероприятий по интенсификации естественного проветривания и технологических мероприятий, направленных на оздоровление атмосферы карьера, уточняются периоды в течение года, когда необходимо применение средств искусственной вентиляции. Уточняются также масштабы загрязнения, с учетом которых выбираются вентиляторные установки, места их расположения в карьере и схемы его вентиляции.

Работа вентиляторных установок оценивается по времени, которое они затрачивают на очистку атмосферы карьера до допустимого уровня загрязнения, а также по экономической эффективности их работы.

В заключение производится экономическая оценка эффективности применения искусственной вентиляции карьера.

Таким образом, проектирование вентиляции карьера состоит из следующих этапов:

- оценка природных условий в районе заложения карьера;

- выбор технологии, механизации и геометрических параметров карьера по фактору вентиляции;
- расчет параметров естественного проветривания;
- определение количества вредных, поступающих в атмосферу карьера;
- установление содержания вредных в атмосфере карьера;
- определение периодов, требующих интенсификации воздухообмена в карьере;
- выбор средств интенсификации естественного проветривания карьера;
- установление периодов, требующих применения средств искусственной вентиляции, условий и масштабов загрязнения атмосферы карьера;
- определение количества воздуха для искусственной вентиляции карьера;
- выбор вентиляторных установок, мест их расположения и схем вентиляции карьера;
- нахождение числа совместно работающих вентиляторных установок;
- определение эффективности работы вентиляторных установок;
- оценка экономической эффективности искусственной вентиляции.

Окончательное решение вопросов вентиляции карьера может быть получено в результате нескольких расчетов по приведенной схеме или по ее отдельным этапам. Например, если оценка эффективности естественного проветривания, полученная на пятом этапе, показывает ее недостаточность, расчет можно повторить, начиная с третьего этапа, приняв при этом более совершенные средства борьбы с вредностями.

## **8.2. Оценка природных условий в районе заложения карьера**

Основными природными условиями, определяющими проветривание карьера, являются климат, орография и растительность района.

Из климатологических факторов прежде всего должны быть учтены ход скорости и направления ветра, периоды штилей и инверсий температуры, а также годовой ход температуры, количество и характер осадков, величина солнечной радиации.

Значение годового и суточного хода скорости ветра, а также данные об инверсиях позволяют установить периоды нарушения воздухообмена в карьере. Это прежде всего периоды штилей, а также периоды небольших (не более 1 м/с для неглубоких карьеров и не более 2 м/с для глубоких карьеров) скоростей ветра на поверхности. Оценка длительности таких периодов позволяет определить соответствующие требования к технологии, механизации, расположению и геометрическим параметрам карьера уже на начальной стадии проектирования. Например, наличие в течение года продолжительных периодов с низкими скоростями ветра связано с необходимостью применения транспорта, не создающего значительной загазованности и запыленности атмосферы карьера (электровозный, конвейерный). При преобладании скоростей ветра какого-либо определенного направления рассматривают возможность: ориентации длинной оси карьера (для карьера вытянутой формы) вдоль этого направления, а также расположение забоев на наветренном борту. Если периоды штиля достаточно

регулярно повторяются в течение суток, целесообразно рассмотреть вопрос о такой организации работ в карьере, при которой производственные процессы, вызывающие наибольшее загрязнение атмосферы (например, массовые взрывы), будут осуществляться в периоды суток с достаточной высокой скоростью ветра. По данным о направлении преобладающих ветров принимаются решения о расположении карьера и внешних источников загрязнения (обоганительные фабрики, грунтовые дороги и т. д.). Они должны располагаться с подветренной стороны относительно карьера.

Данные о годовом и суточном ходе скорости ветра являются основными для детальной оценки параметров схем естественного проветривания, выполняемой на третьем этапе проектирования (8.4).

Предварительную оценку пылевой обстановки производят на основе данных о температуре и осадках в районе карьера. Незначительное количество осадков, резкие перепады температур способствуют пылеобразованию как в карьере, так и на поверхности. Наличие длительных периодов отрицательных температур ограничивает возможности применения мокрых способов борьбы с пылью.

Солнечная радиация, с одной стороны, определяет температуру горных пород и воздуха в карьере, тем самым влияя на пылеобразование, а с другой она определяет устойчивость атмосферы и воздухообмен в карьере.

Орография, характеризуя форму земной поверхности в районе расположения карьера, прежде всего определяет степень закрытости горизонта внешними неровностями рельефа. От закрытости горизонта зависит ослабление ветра над поверхностью карьера. Степень закрытости определяется отношением  $H/L$ , где  $H$  – превышение неровностей рельефа над начальной отметкой карьера,  $L$  – расстояние от карьера до неровностей. В табл. 8.1 приведена степень ослабления ветра в зависимости от степени закрытости горизонта.

Таблица 8.1

Степень ослабления ветра в зависимости от степени закрытости горизонта

Параметры	Закрытость горизонта, градус				
	0	5	10	15	>15
Отношение $H/L$	0	0,09	0,18	0,27	>0,27
Степень ослабления воздушного потока $P$	0	0,1	0,2	0,3	Возникновение потоков обратного направления

Скорость ветра над площадкой карьера  $u_k$  в зависимости от степени ослабления ветрового потока  $P$  и характерной скорости ветра для рассматриваемого района  $u_0$  определяется по формуле

$$u_k = (1 - P)u_0 \quad (8.1)$$

Данные о растительном покрове в районе расположения карьера необходимы для оценки пылеобразования и ослабления ветрового потока на поверх-

ности. Плотный растительный покров и наличие леса уменьшают пылеобразование на поверхности, в то же время они способствуют ослаблению ветра.

### **8.3. Выбор технологических основ открытых горных работ по фактору вентиляции**

При проектировании технологии открытых горных работ учитывают особенности того или иного месторождения полезного ископаемого, его залегание, свойства и прочие природные факторы. Вместе с тем необходимо учитывать и влияние технологических факторов на атмосферные условия.

Если условия разработки позволяют применить несколько вариантов технологии, то предпочтение отдается тем вариантам, при которых возможно наименьшее отрицательное воздействие на атмосферные условия в карьере. Основными технологическими факторами, определяющими атмосферные условия в карьере, являются типы месторождений, форма и размеры карьерных полей, фронт горных работ, системы открытых горных разработок и способы вскрытия.

Тип месторождений, определяющийся условиями залегания полезных ископаемых, оказывает влияние в основном на проветривание карьера. В соответствии с принятой классификацией различают следующие их типы: поверхностный, глубинный, нагорный, нагорно-глубинный и подводный.

Благоприятным для естественного проветривания является нагорный тип месторождений, при котором залежи полезных ископаемых располагаются выше уровня окружающей поверхности. В то же время не исключены случаи, когда по условиям вентиляции проветривание нагорных карьеров связано с определенными трудностями, что возможно при близком расположении соседних гор.

Проветривание месторождений поверхностного типа, которые характеризуются горизонтальным или пологим залеганием полезного ископаемого и относительно небольшой глубиной, не вызывает трудностей. При расчете эффективности естественного проветривания в отдельных случаях возможен один вариант, в связи с тем что глубина карьера изменяется незначительно.

Ухудшение эффективности естественного проветривания связано с разработкой месторождений глубинного типа. Поскольку в данном случае происходит непрерывное увеличение глубины, возможно снижение скорости воздушных потоков и при определенных условиях накопление в атмосфере карьеров вредных веществ, количество которых может превышать ПДК. В связи с этим для подобных карьеров необходимо при составлении проектов более подробно производить расчет естественной вентиляции для каждого этапа их развития. Для глубинных месторождений при определенных условиях возможно применение и искусственной вентиляции, особенно при инверсионном состоянии атмосферы и интенсивных источниках пыле- и газовой выделений.

Проветривание месторождений нагорно-глубинного типа в общем различно при разработке нагорной и глубинной частей.

Форма и размеры карьерных полей также влияют на их проветривание. При этом форма карьера может быть вытянутой, при которой отношение длины к ширине равно четырем и более, и округленной, когда ширина приближается к длине. Возможны и более сложные их формы. Форма карьера позволяет изменять направление воздушных потоков в выработанном пространстве.

Существенное влияние на проветривание карьеров оказывают его геометрические параметры. При этом для глубинного, а в некоторых случаях и поверхностного типа месторождений решающим является отношение длины; и ширины карьера к его глубине. В зависимости от этого отношения по степени проветриваемости ветром выделяются следующие группы: хорошо проветриваемые (отношение более 10); слабопроветриваемые (6...10) и труднопроветриваемые (менее 6).

При этом основное значение имеют угол откоса борта со стороны направления ветра и размеры карьера по дну. Как известно из теории пограничного слоя плоскопараллельной струи, угол раскрытия струи около  $15^\circ$ . В связи с этим в карьерах возможны две основные схемы проветривания с применением ветра: прямоточная, когда угол наклона борта равен или меньше  $15^\circ$ , и рециркуляционная — угол наклона борта более  $15^\circ$ . С увеличением угла наклона возрастает объем карьера, который проветривается обратными потоками. В то же время известно, что углы откоса бортов принимаются исходя из технологии ведения горных работ и их устойчивости. Поэтому целесообразно обработку месторождения и развитие карьера производить таким образом, чтобы рабочий борт, который имеет, как правило, меньший угол наклона, располагался со стороны господствующих ветров. Для рециркуляционной схемы проветривания уменьшение размеров дна карьеров приводит к повышению относительных объемов с обратными потоками.

Важным показателем для месторождений глубинного типа является глубина карьера. С ее увеличением вертикальная температурная стратификация воздуха может быть как интенсивным фактором развития воздушных потоков (при сверхadiaбатическом градиенте), так и фактором, затрудняющим воздухообмен в карьере (при изотермическом и особенно инверсионном градиентах). Для глубоких карьеров наиболее важно последнее положение, что может привести к значительным загрязнениям атмосферы.

Принятая классификация размеров карьеров разделяет их на весьма малые, средние, крупные и весьма крупные. Весьма малые карьеры площадью в плане до  $0,4 \text{ км}^2$  и глубиной до 40 м при наличии средств местного подавления вредностей обычно не представляют опасности в отношении загрязнения атмосферы. Остальные карьеры глубинного типа требуют определения возможностей естественного проветривания, особенно при недостаточно эффективных способах пыле- и газоподавления.

Некоторое влияние на загазованность и запыленность воздуха на рабочих местах оказывают параметры, характеризующие фронт горных работ. Направление фронта (вдоль длинной или короткой оси карьера, концентрическое или по эллипсу) позволяет изменять взаимное расположение и концентрацию оборудования по отношению к направлению воздушных потоков. При этом воз-

можно наложение вредностей от различных источников, что может принести к значительному увеличению загрязнения атмосферы на рабочих местах. Кроме того, при направлении фронта вдоль длинной оси, в случае ее совпадения (а также отклонения до  $30^\circ$ ) с господствующим направлением ветра, повышается эффективность естественного проветривания.

Подвигание фронта горных работ (параллельно, по вееру, радиально от центра к контуру или от периферии к центру), так же как и направление, оказывает влияние на воздушные потоки в карьерах. Параллельное перемещение фронта от промежуточного положения между границами и контурам карьерного поля позволяет иметь меньшие углы откосов в период наибольшей насыщенности карьера горным оборудованием и тем самым снизить объем зон с обратными потоками. При веерном перемещении фронта горных работ могут быть такие положения, при которых интенсивность проветривания забоев снижается. Проветривание почти не зависит от господствующего направления ветра при радиальном и спиральном перемещениях.

Последовательность выемки горной массы на уступе определяет формирование воздушных потоков в забоях горных работ. При выемке тонкими слоями вдоль верхней площадки уступа или блока забой хорошо проветривается при любом направлении ветра, а при выемке тонкими слоями вдоль откоса по фронту уступа он проветривается несколько хуже, особенно если направление ветра перпендикулярно к фронту со стороны верхней бровки откоса. Выемка заходками или панелями вдоль фронта уступа, с расположением заходов в каждой панели поперек фронта и торцевыми забоями, может привести к созданию в них застойных зон с повышенной запыленностью и загазованностью. Наиболее сложные атмосферные условия создаются в тупиковых забоях при проведении траншей.

Порядок погрузки горной массы предопределяет в некоторой степени интенсивность пылеобразования при экскавации. Наименьшее будет при погрузке горной массы на горизонте установки выемочно-погрузочного оборудования. Более интенсивное пылеобразование возможно при верхней погрузке горной массы, когда ее разгрузка происходит в откаточный сосуд, находящийся в зоне с повышенными скоростями воздушных потоков. Наибольшая интенсивность наблюдается при экскаваторной перевалке, когда горная масса в 2 раза и более перемещается экскаватором.

Высота уступа также влияет на интенсивность пылеобразования при работе в забое экскаватора. В связи с этим не допускается работа на уступах высотой, превышающей высоту черпания ковша экскаватора, особенно при разработке сухих пород, которые содержат легко взмываемые фракции пыли. В противном случае обрушение верхней части уступа приводит к резкому повышению запыленности в забое (в 1,4...8 раз) и вдоль распространения пылевого факела. Завышенная высота разгрузки и угол поворота экскаватора для отгрузки также приводят к увеличению запыленности воздуха.

Порядок перемещения горной массы вдоль уступа влияет на состояние атмосферы при работе автомобильного транспорта. При этом применение сквозного фронта работ с поточным движением автотранспорта позволяет при

одном и том же числе автомашин снизить их скопление, особенно в траншеях, и тем самым резко уменьшить в них загазованность по сравнению с тупиковым забоем.

Приведенный анализ позволяет установить влияние систем открытых разработок на проветривание карьера в целом. Если принять за основу классификацию систем открытых разработок, предложенную В. В. Ржевским, то необходимо отметить следующее.

Наиболее опасны по пылевому и газовому факторам системы с переменной рабочей зоной (группа  $K$ ), которые применяются при разработке наклонных и крутых месторождений, что может привести к снижению эффективности проветривания карьеров за счет естественных факторов. Среди этой группы наибольшую опасность представляют системы с поперечным однобортовым ( $KП_0$ ) и двухбортовым ( $KП_д$ ) направлением выемки в плане.

Системы разработки с постоянной рабочей зоной (группа  $Г$ ) в целом более безопасны. Если отвалы располагаются на достаточном расстоянии от верхней бровки карьера, то проветривание их в основном осуществляется по прямоточной схеме. Причем даже при наличии зон с обратными потоками их объемы непрерывно уменьшаются с развитием карьера. При небольшом расстоянии отвалов до верхней бровки карьера как в системах группы  $Г$ , так и в системах группы  $K$  увеличение высоты отвалов приводит к ухудшению проветривания внутрикарьерного пространства. Минимальное расстояние от верхней бровки карьера до отвала по условиям проветривания не должно быть менее 10 высот отвала. Для породных отвалов, склонных к самовозгоранию, это расстояние должно учитывать возможное распространение газов.

На проветривание карьеров оказывает влияние расположение уступов. При рабочих площадках различной ширины и неравномерном подвигании забоев на уступах могут образовываться зоны с обратными потоками даже в случае, когда общий угол наклона рабочего борта позволяет проветривать выработанное пространство по прямоточной схеме.

Состояние атмосферы карьера зависит и от способа вскрытия месторождений. Наличие внешних траншей, проведенных с учетом господствующего направления ветра, позволяет уменьшить зоны с обратными потоками даже при крутых углах наклона бортов карьера, особенно при вскрытии месторождения парными траншеями. При применении парных траншей также рассредоточиваются источники пыли и газа.

При вскрытии месторождений подземными выработками создается возможность подачи воздуха в застойные зоны искусственным путем. Однако такой способ проветривания имеет местное значение, поскольку выработки позволяют пропустить весьма ограниченные объемы воздуха.

Большое влияние на запыленность и загазованность атмосферы карьера оказывает значительный объем по добыче, вскрыше и подготовительным работам. При применении одного и того же горного и транспортного оборудования в индентичных условиях повышение запыленности и загазованности в среднем пропорционально росту производственной мощности карьера. Интенсификация

и концентрация горных работ способствуют повышению загрязненности атмосферы зон карьера.

#### 8.4. Определение параметров естественного проветривания карьера

На этом этапе проектирования в основном определяют схемы естественного проветривания карьера в различные периоды его развития и необходимое количество воздуха, проветривающего карьер.

Работа выполняется в следующей последовательности.

На весь срок эксплуатации определяются периоды, в которые карьер будет иметь различные углы откоса бортов, отношения глубины к ширине и длине, интенсивности и места выделения вредностей (с учетом характера, масштабов, технологии и механизации горных работ), а также другие характеристики, которые в условиях проектируемого карьера могут влиять на эффективность естественного проветривания. Для этих периодов строится его план и вычерчиваются характерные профили (сечения вертикальной плоскостью) для основных направлений ветра. При этом число сечений и их ориентация должны быть достаточны для получения пространственной картины движения воздуха в карьере.

На рис. 8.1 показаны четыре профиля одного из карьеров для разных периодов его отработки, располагающиеся в одной вертикальной плоскости.

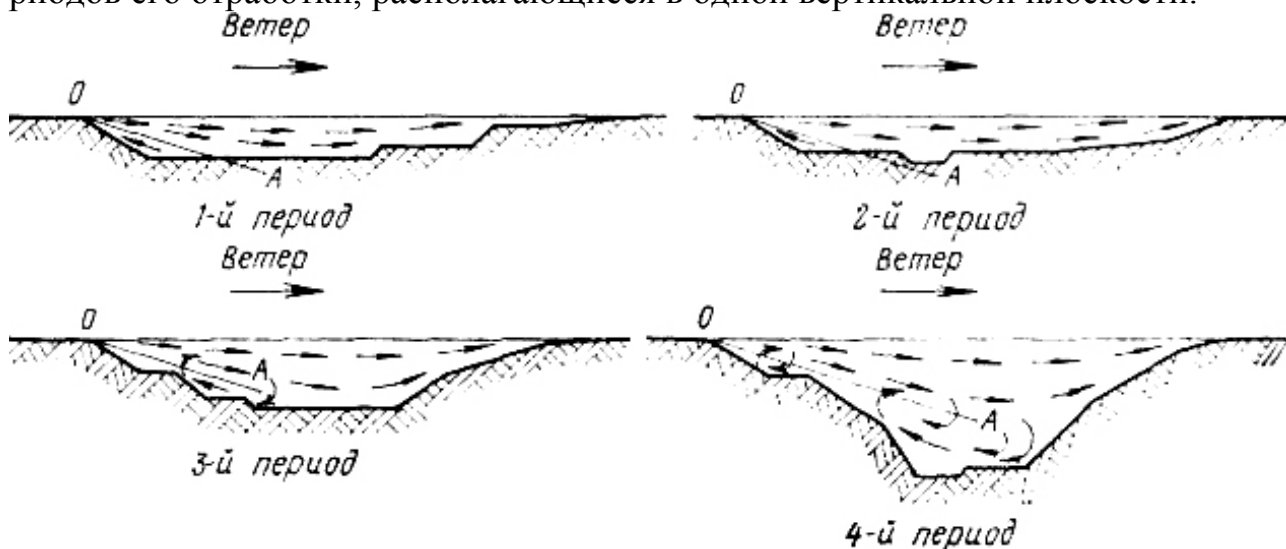


Рис. 8.1. Схемы движения воздуха и характерные профили для одного из карьеров за весь период его отработки

Для каждого периода по выбранным характерным сечениям карьера производится определение схем естественного движения воздуха с учетом различных метеорологических условий, прежде всего его скорости на поверхности. Затем определяются периоды года, в которых преобладают ветровые или термические схемы вентиляции, а в пределах последних устанавливают их разновидности. Например, из рис. 8.1 видно, что при большой силе и принятом направлении ветра в 1-й и 2-й периоды отработки весь карьер будет проветриваться по прямоточной схеме. Зоны рециркуляции, располагающиеся ниже гра-



ницы свободной струи  $AO$  (проходящей под углом  $15^\circ$  к горизонту), в эти периоды будут незначительны. Если при этом основные горные работы будут производить на правом, наветренном борту, то с учетом большого отношения длины карьера к его глубине в рассматриваемые периоды отработки особых затруднений с проветриванием карьера, видимо, не будет (последние, однако, могут возникать в периоды штилей и температурных инверсий). В 3-м периоде объем зоны рециркуляции возрастает, схема проветривания становится рециркуляционно-прямоточной. Положение усугубляется в 4-м периоде, когда схема проветривания превращается в чисто рециркуляционную, а уменьшающееся отношение длины карьера к его глубине приведет к значительному ослаблению ветрового движения воздуха в придонной части. Это может вызвать в данной части карьера движение воздуха по термической схеме.

На рис. 8.2 показаны планы горных работ трех периодов развития в одном из карьеров, на которых штриховой линией обозначены границы зоны рециркуляции при направлении ветра, указанном стрелками, со скоростью  $4 \text{ м/с}$ . Цифры на рисунках обозначают глубину работ.

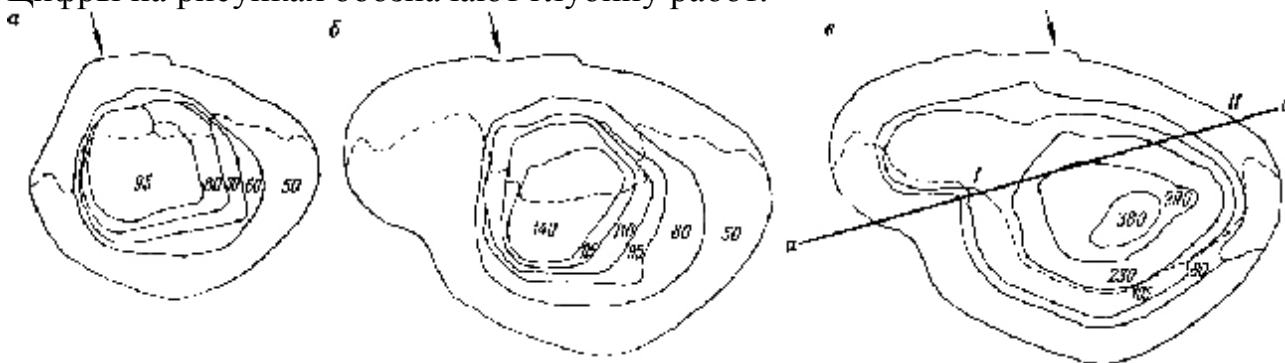


Рис 8.2. Схемы к определению области рециркуляции воздуха по основным периодам развития работ в карьере

В начальный период (см. рис. 8.2,*а*) площадь зоны рециркуляции в плане сравнительно невелика, так же как и ее объем (угол откоса подветренного борта не намного превышает  $15^\circ$  — угол раскрытия ветрового потока, проветривающего карьер). Во втором периоде (см. рис. 8.2,*б*) объем этой зоны возрастает и становится особенно значительным, охватывая большую часть карьера, в третьем периоде (см. рис. 8.2,*в*), когда глубина карьера достигает  $380 \text{ м}$ , угол откоса подветренного борта составляет около  $40^\circ$ .

Аналогично оцениваются объемы зон рециркуляции для других скоростей и направлений ветра.

В результате на плане горных работ для каждого периода отработки карьера и основных направлений и скоростей ветра (т. е. для каждого периода года) выделяются зоны рециркуляции, в пределах которых следует ожидать повышенного содержания вредных веществ.

Для ветровых схем на каждый период отработки карьера с учетом направления и скорости ветра определяется расход воздуха, проветривающего карьер. Расчеты производят по формуле

$$Q = 0,171 \cdot u_0 L_n,$$

где  $u_0$  – скорость ветра на поверхности, м/с;

$L_n$  – длина проекции подветренного борта на горизонтальную плоскость, м.

Для прямоточных схем проветривания расход воздуха определяется по формуле

$$Q = 0,077 \cdot x_{01cp} u_0 L,$$

где  $x_{01cp}$  – среднее расстояние  $x_{01}$  для нескольких характерных профилей карьера, совпадающих с направлением ветра;

$L$  – размер карьера на уровне поверхности в направлении, перпендикулярном направлению ветра,

или

$$Q = kh_c u_0 L,$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий, что к верхней бровке подветренного борта карьера воздушный поток поступает уже с некоторым замедлением (по экспериментальным данным в среднем  $k=0,9$ );

$h_c$  – толщина свободной воздушной струи над верхней бровкой подветренного борта карьера,

для рециркуляционных схем.

Определение схем проветривания карьера и зон рециркуляции можно произвести с помощью моделирования, при котором уменьшенная модель карьера проветривается в специальной аэродинамической трубе.

## 8.5. Определение количества и содержания вредностей в атмосфере карьера

Количество вредностей, поступающих в атмосферу карьера, складывается из поступлений от внешних  $G_1$  и внутренних  $G_2$  источников:

$$G_0 = G_1 + G_2 \quad (8.2)$$

Вредности от внешних источников, расположенных вдали от карьера, обычно определяются по экспериментально измеряемой концентрации вредности  $c_0$  в воздухе, поступающем с поверхности в карьер  $Q$ :

$$G_1 = c_0 Q \quad (8.3)$$

Поступление вредностей от внутренних источников можно рассчитать, если известны их число, интенсивность выделения вредностей (количество вредностей, выделяющихся в единицу времени) и коэффициент одновременности работы:

$$G_2 = \sum_{i=1}^N k_i g_i n_i, \quad (8.4)$$

где  $k_i$  – коэффициент одновременности работы однотипных источников  $i$ -й группы;

$g_i$  – интенсивность выделения вредностей при работе одного источника  $i$ -й группы;

$n_i$  – число однотипных источников выделения вредностей в  $i$ -й группе;

$N$  – число групп однотипных источников выделения вредностей, одновременно работающих в карьере.

Однотипными источниками являются те машины и механизмы, которые при работе выделяют одинаковое количество вредностей в единицу времени. Обычно это установки одного и того же конструктивного типа (экскаваторы, буровые станки, автосамосвалы и др.). Величины  $n$ ,  $k$ ,  $N$  принимаются из технологической части проекта карьера, интенсивности выделения вредности  $g$  – по данным экспериментов или определяются расчетом.

Средняя концентрация вредности в атмосфере карьера для безветренной погоды (в долях единицы)

$$c'_k = \frac{Gt}{V}, \quad (8.5)$$

где  $G$  – количество вредностей, поступающих в атмосферу карьера в единицу времени;

$t$  – время;

$V$  – объем карьера.

Если проветривание карьера производится ветром, то за время  $dt$  в проветриваемый объем  $V$  поступит количество вредностей  $Gdt$ ; за это же время из объема  $V$  потоком воздуха будет удалено вредностей  $c_k Q' dt$ , где  $c_k$  – средняя концентрация вредностей в объеме  $V$  (в долях единицы);  $Q'$  – расход воздуха через этот объем. Увеличение количества вредностей за этот период в объеме  $V$  составит  $Vdc_k$ .

Уравнение баланса вредности в этом случае

$$Gdt - c_k Q' dt = Vdc_k \quad (8.6)$$

Интеграл этого уравнения при начальном условии  $t=0$ ,  $c_k = 0$  имеет вид

$$c_k = \frac{G}{Q'} \left( 1 - e^{-\frac{Q't}{V}} \right) \quad (8.7)$$

Если  $V$  – объем карьера, то  $Q'$  в формуле (8.7) является расходом воздуха, проветривающего карьер:

$$Q' = Q_1 L \quad (8.8)$$

где  $Q_1$  – расход воздуха, проветривающего карьер и отнесенного к единице его ширины

$L$  — средняя ширина карьера в направлении, перпендикулярном к направлению ветра для прямоточной схемы проветривания и средняя ширина зоны рециркуляции в том же направлении для рециркуляционной схемы (на рис. 8.2, в это примерно длина участка I – II прямой  $a - a$ , перпендикулярной к направлению ветра).

С учетом формулы (8.8) формула (8.7) примет вид

$$c_{\kappa} = \frac{G}{QL} \left( 1 - e^{-\frac{Q_1 t}{V}} \right) \quad (8.9)$$

По формулам (8.5) и (8.9) определяют среднюю концентрацию вредных в атмосфере карьера через время  $t$  после начала их выделения. Фактические их концентрации в отдельных местах могут существенно отличаться от рассчитанных по этим формулам, что особенно характерно для безветренной погоды, когда воздухообмен в карьере весьма затруднен и когда возможно значительное накопление вредных на рабочих местах.

В то же время, если для ветровых схем проветривания средняя концентрация вредности в карьере, определяемая по формуле (8.9), будет ниже ПДК, можно считать, что общее состояние атмосферы в карьере удовлетворительно, а проветривание карьера достаточно эффективно. Возможные местные скопления вредных в этом случае могут рассеиваться средствами местной вентиляции. Однако следует иметь в виду, что для обеспечения допустимого содержания вредных на рабочих местах их среднее содержание в атмосфере карьера должно составлять одну треть ПДК.

Если средняя концентрация вредных в атмосфере карьера более одной трети ПДК, но не менее его необходимо применять средства подавления вредных на рабочих местах. В этом случае основная часть выделяющихся вредных будет подавляться на местах их образования, а остальное их количество, которое средства подавления не смогут связать, будет поступать в атмосферу карьера, повышая среднее содержание вредных в ней до ПДК.

Если же средняя концентрация вредных в атмосфере карьера окажется равной или выше ПДК, состояние атмосферы карьера и эффективность его проветривания неудовлетворительны.

Приняв в формулах (8.5) и (8.9) в качестве средней концентрации вредных в карьере ее предельно допустимое значения  $c_d$  и решив их относительно  $t$ , можно определить время, в течение которого концентрация вредных в атмосфере карьера достигнет уровня ПДК.

Для безветренной погоды

$$t = \frac{c_d V}{G} \quad (8.10)$$

для проветривания энергией ветра

$$t = -\frac{V}{Q_1 L} \ln \left( 1 - \frac{c_d Q_1 L}{G} \right). \quad (8.11)$$

Накопление вредностей в карьере происходит, если выражение, стоящее под знаком логарифма в формуле (8.11), положительное; если оно отрицательное, вредности не накапливаются и уровень ПДК ( $c_d$ ) не будет достигнут.

Формула (8.9) позволяет определить критическую скорость ветра на поверхности  $u_k$ , при которой концентрация вредностей в карьере будет выше ПДК. Для этого формула должна быть решена относительно  $Q_1$  при условии что  $c_k = c_d$ . Задавая время накопления вредностей  $t$  до предельно допустимой ее концентрации  $c_d$ , из формулы (8.9) определяют значение критического расхода воздуха  $Q_1$ , ниже которого концентрация вредностей в карьере будет превышать ПДК. Далее, используя формулы для расчета расхода воздуха, проветривающего карьер, находят значение скорости ветра на поверхности, соответствующее расходу воздуха, определенному по формуле (8.9). Это значение скорости и будет критической скоростью ветра  $u_k$ .

Следует иметь в виду, что количество вредностей  $G$ , входящее в формулы (8.7), (8.9) и (8.11), должно определяться лишь по тем источникам их выделения, от которых вредности поступают в объем воздуха  $Q' = Q_1 L$ .

Если время накопления вредностей до ПДК больше, чем время непрерывной работы источников их выделения, интенсификация проветривания и дополнительные средства борьбы с поступлением вредностей в атмосферу карьера не требуются (предполагается, что за время, когда источник не работает, происходит полное восстановление нормального состава атмосферы.). Если это время меньше времени непрерывной работы источников, необходимо:

- повысить эффективность средств борьбы с выделением вредностей в источниках их образования;
- при недостаточности мероприятий следует интенсифицировать естественное проветривание карьера;
- если мероприятия по предыдущим пунктам все же не дают должного эффекта, применять искусственную вентиляцию карьера.

Требуемая общая эффективность всех средств подавления вредностей в источниках их образования

$$\eta_{m.o} = \frac{c_k - c_d}{c_k} \quad (8.12)$$

где  $c_k$  – определяется по формулам (8.5) и (8.9).

Если в карьере одновременно работают  $N$  групп однотипных источников вредностей и фактическая эффективность средств подавления  $i$ -й группы равна  $\eta_{\phi i}$ , то общая фактическая эффективность будет

$$\eta_{\phi.o} = 1 - \sum_{i=1}^N (1 - \eta_{\phi i}). \quad (8.13)$$

Необходимая степень снижения поступления вредностей в атмосферу карьера

$$K = \frac{1 - \eta_{m.o}}{1 - \eta_{\phi.o}} \quad (8.14)$$

Новая повышенная эффективность средств подавления вредностей в группах их источников, при которой общая эффективность будет равна требуемой, может быть определена из формулы (8.13), если в ее правую часть вместо  $\eta_{\phi.o}$  подставить  $\eta_{то}$ , определенную по формуле (8.12).

Если современные средства борьбы с вредностями в источниках их образования не обеспечивают требуемую общую эффективность средств подавления, необходимо оценить возможности интенсификации естественного проветривания карьера.

### **8.6. Интенсификация естественного проветривания карьеров и технологические мероприятия по оздоровлению их атмосферы**

Интенсификация естественного проветривания сокращает периоды, в которые необходимо применение средств искусственной вентиляции. Способы интенсификации в основном состоят из улучшения ориентации карьера относительно господствующего ветра, уменьшения углов откоса бортов, увеличения протяженности карьера в направлении господствующего ветра, соответствующего расположения отвалов и сооружений на поверхности. Применение большинства перечисленных средств интенсификации естественного проветривания карьера обычно ограничено орографией района и геологическими условиями месторождения. Определенное значение имеют и экономические проблемы. Например, уменьшение углов откоса бортов карьера связано с увеличением объемов вскрышных работ и, следовательно, с увеличением затрат на их производство.

Рациональное расположение внешних отвалов и сооружений является более простой задачей. Однако следует иметь в виду, что эти мероприятия могут быть эффективны лишь при том направлении ветра, относительно которого осуществлена необходимая ориентация отвалов и сооружений. При изменении направления ветра они могут оказывать экранирующее действие, ухудшая проветривание карьера. Этого может и не быть, если произойдет резкое изменение направления ветра (например, на  $90^\circ$  и более). Очевидно, использование внешних отвалов и сооружений для интенсификации проветривания целесообразно при наличии продолжительного ветра в одном направлении. Таким образом, данный вопрос должен решаться на основе анализа розы ветров. При этом необходимо предусмотреть меры для предупреждения заноса пыли в карьер с внешних отвалов.

Вопросы интенсификации естественного проветривания карьеров рассмотрены в разд. 7.

При анализе исследований, выполненных МГИ, установлено, что для интенсификации естественного проветривания карьера можно использовать на-

правляющие горизонтальные щиты, располагаемые у верхней бровки карьера на некоторой высоте над, поверхностью. Подобные щиты могут перемещаться по контуру карьера, следуя за ветром. Направляя воздушный поток в карьер, они способствуют уменьшению зон рециркуляции.

На данном этапе проектирования целесообразно вновь рассмотреть возможности оздоровления атмосферы карьера с применением технологических средств. Если интенсивность естественного проветривания недостаточная и невозможно подавить вредности в источниках их образования, целесообразно внести изменения в технологию, механизацию и организацию работ в карьере с целью уменьшения поступления вредностей в его атмосферу. Например, можно изучить возможность: применения более гигиенических видов транспорта (электровозный, конвейерный, гидравлический), автосамосвалов тех видов, которые выделяют наименьшее количество вредных газов; преимущественного ведения работ на наветренных бортах; ведения взрывных работ в периоды суток, когда воздухообмен в карьере максимальный; такой организации работ, при которых время непрерывной работы источников выделения вредностей (всех или их значительной части) меньше времени накопления вредностей в атмосфере карьеров до уровня ПДК и т. п.

Применение всего комплекса рассмотренных выше мероприятий – повышение эффективности средств как подавления вредностей в источниках их образования, так и естественного воздухообмена в карьере и принятие более благоприятных в санитарно-гигиеническом аспекте технологических решений – связано с повторной оценкой эффективности естественного проветривания. При благоприятных условиях проведение перечисленных мероприятий может обеспечить создание нормальных атмосферных условий в карьере. Возможно, однако, что в определенные периоды года в карьере будет наблюдаться накопление вредностей выше уровня ПДК либо на небольших участках, либо в карьере в целом или в его значительной части. При этом для обеспечения нормальной работы карьера необходимы средства искусственной вентиляции.

Большое значение как на этом этапе проветривания, так и на последующих имеет экономическая оценка принимаемых решений. Например, целесообразно сравнить затраты на интенсификацию естественного проветривания и затраты, связанные с изменением технологических схем добычи полезного ископаемого, с затратами на специальные средства борьбы с вредностями, затратами, связанными с вынужденными простоями карьера при отсутствии мероприятий по борьбе с вредностями и интенсификации естественного проветривания. Экономическая оценка этих мероприятий в конечном итоге определяет принятие того или иного решения по оздоровлению атмосферы карьера.

### **8.7. Определение периодов и масштабов применения средств искусственной вентиляции**

При оценке эффективности естественного проветривания карьера были установлены критические значения скорости ветра на поверхности  $u_k$ , ниже которых естественный воздухообмен практически прекращался. Эти значения яв-

ляются исходными при определении периодов применения средств искусственной вентиляции.

Ранее отмечалось, что среди исходных данных для проектирования вентиляции карьера должны быть сведения о годовом и суточном ходе скорости ветра на поверхности. Выделяя на графиках хода скорости периоды, когда скорость ветра оказывается ниже критической ( $u_v < u_k$ ), можно тем самым установить периоды года (или суток) и их продолжительность, в течение которых необходимо применять искусственную вентиляцию карьера.

На рис. 8.3 показаны примерные графики годового (а) и суточного (б) ходов скоростей ветра на поверхности карьера. Заштрихованные участки соответствуют периодам нарушения воздухообмена, когда  $u_v < u_k$ . Критическое значение скорости ветра на поверхности  $u_k$  принято 1,3 м/с.

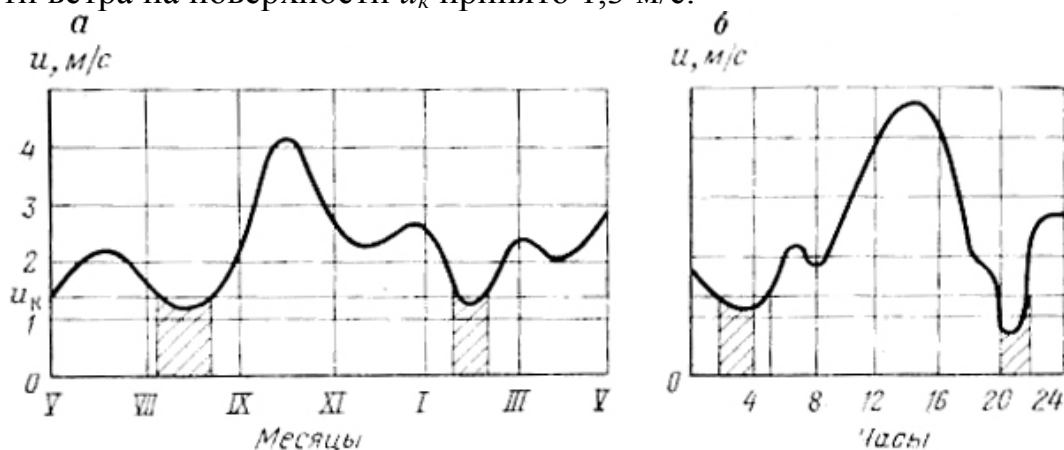


Рис. 8.3. Графики к оценке периодов нарушения естественного воздухообмена в карьере

При одинаковой критической скорости ветра для различных направлений оценку периодов нарушения воздухообмена достаточно производить по графикам годового и суточного хода ветра, усредненным по его направлениям.

Если же критические скорости ветра неодинаковы для различных направлений, такую оценку следует производить по графикам скорости для ее основных направлений.

При оценке периодов нарушения воздухообмена всегда необходимо иметь в виду, что среднестатистические данные о ходе скорости ветра могут отличаться от фактического значения хода, который будет установлен в тот или иной период обработки карьера.

Для оценки периодов нарушения воздухообмена в карьере можно использовать и метеорологические данные об инверсиях температуры и штилях.

Установленные по этим данным периоды нарушения воздухообмена следует оценивать относительно их продолжительности. Применение средств искусственной вентиляции необходимо лишь в случаях, когда продолжительность этих периодов превышает время накопления вредностей в атмосфере карьера до уровня ПДК, для определения которого используют формулы (8.10) и (8.11).

Масштабы применения средств искусственной вентиляции карьера определяются объемами зон загрязнения, содержание вредностей в которых превы-



шает уровень ПДК. Объем зон загрязнения зависит от схемы проветривания, скорости ветра на поверхности, количества вредных, поступающих в атмосферу карьера, расположения источников выделения вредных в карьере.

При прямоточной схеме проветривания и расположения источников выделения вредных на подветренном борту карьера загрязняться будет весь его объем, который будет уменьшаться при перемещении источников к наветренному борту.

Применяя рециркуляционную схему проветривания, объем зоны загрязнения можно принимать равным объему зоны рециркуляции при определении уровня загрязнения учитывать только источники, от которых они поступят в эту зону.

При инверсиях объем зоны загрязнения равен объему внутрикарьерного пространства ниже уровня инверсии.

### **8.8. Определение расхода воздуха, необходимого для вентиляции карьера**

Расход воздуха, необходимый для разбавления вредных, поступающих в атмосферу карьера, до допустимой концентрации определяется по формуле

$$Q = \frac{G}{k(c_d - c_0)} \quad (8.15)$$

где  $G$  – суммарная интенсивность поступления вредных в атмосферу карьера, образуемых всеми источниками (количество вредных в единицу времени);

$c_d$  – ПДК вредных в атмосфере карьера;

$c_0$  – концентрация вредных в поступающем в карьер воздухе;

$k$  – коэффициент эффективности проветривания карьера.

При использовании формулы (8.15) необходимо иметь в виду следующее.

1. Формула (8.15) является формулой статического разжижения вредных. Последнее означает, что количество вредных  $G$  распределяется в объеме воздуха  $Q$  равномерно. В действительности эти вредности распределяются в атмосфере карьера неравномерно. Очевидно, что для обеспечения во всех точках атмосферы карьера концентраций вредных не выше ПДК при их неравномерном распределении в атмосфере, расход воздуха, подаваемого в карьер, должен быть больше, чем при равномерном распределении вредных. В формуле (8.15) это учитывается коэффициентом  $k < 1$ , который характеризует перемещающую способность атмосферы карьера. Последняя существенно зависит от схем проветривания, турбулентности атмосферы, ее температурной стратификации, геометрии карьера и др. Значения коэффициента  $k$  определяются экспериментально. По данным С. С. Филатова,  $k = 0,95 \dots 0,98$  при создании в карьере систем вентиляционных струй, охватывающих весь проветриваемый объем; при использовании вентиляционных струй, перемещающихся в карьерном пространстве,  $k = 0,8 \dots 0,9$ ; при фиксированном направлении струй  $k =$

0,5...0,6; при естественном проветривании карьера ветровым потоком по рециркуляционной схеме значение коэффициента  $k$  на порядок меньше.

2. Формула (8.15) должна применяться отдельно для расчета воздуха по выделению пыли и газов. При расчете по пыли  $G$  является суммарным выделением пыли в атмосферу карьера всеми источниками пылеобразования. В этом случае  $G$  рассчитывается по формуле (8.4) и выражается в мг/с, а  $c_d$  – в мг/м<sup>3</sup>. Тогда расход воздуха  $Q$  будет выражен в м<sup>3</sup>/с.

Ниже приведены интенсивности пылеобразования при работе различных машин в карьерах по данным С. С. Филатова.

Экскаваторы с ковшом вместимостью до 4 м<sup>3</sup> – 120...150 мг/с

То же, до 8 м<sup>3</sup> – 200...250 мг/с

Станки:

шарошечного бурения – 4...5 мг/с

огневого бурения – 220...250 мг/с

пневмоударного бурения – 4 мг/с

Технологические автосамосвалы – 150...200 мг/с

Бульдозеры – 50...80 мг/с

Самоходные дробильные установки (до 3000 т/ч) – 100...150 мг/с

Пункты перегрузки и грохочения – 20...30 мг/с

Если в атмосферу карьера поступает какой-либо один газ, формула (8.15) используется с той лишь разницей, что  $G$  будет представлять собой суммарную интенсивность выделения в атмосферу данного газа (м<sup>3</sup>/с),  $c_d$  – ПДК этого газа в воздухе (доли единицы); при этом  $Q$  будет выражено в м<sup>3</sup>/с.

Расчет усложняется, если в атмосферу поступает смесь нескольких вредных газов. В этом случае учитывать их различную токсичность и разные ПДК. Расчет заключается в том, что общее количество воздуха для проветривания карьера определяется как сумма частных количеств  $q$ , необходимых для разбавления до ПДК отдельных компонент газовой смеси:

$$Q = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n q_i, \quad (8.16)$$

где  $i$  – номер компонента в газовой смеси;

$n$  – число компонент в этой смеси.

Применение искусственной вентиляции на крупных современных карьерах и расчеты показывают, что для эффективной их вентиляции от газов требуется воздуха 10 000...20 000 м<sup>3</sup>/с; по пылевому фактору – 60 000 м<sup>3</sup>/с.

## **8.9. Выбор вентиляторных установок, мест их расположения и схем вентиляции**

Выбор вентиляторных установок прежде всего должен основываться на ожидаемых масштабах загрязнения карьера. Чем больше объем зон загрязнения, тем более мощными должны быть применяемые средства вентиляции.

Для вентиляции отдельных рабочих мест (местная вентиляция) при удовлетворительном общем состоянии атмосферы в карьере можно использовать передвижные вентиляторы соответствующей мощности.

При значительных объемах местных загрязнений следует использовать мобильные установки типа УМП и АИ-20КВ.

Месторасположение вентиляторной установки зависит от схемы вентиляции карьера, направления ветра, формы карьера, степени и характера загрязнения (рециркуляционное, инверсионное, в объеме всего карьера или его части), числа совместно работающих вентиляторных установок.

Вентиляторные установки могут быть стационарными и передвижными. В карьере желательно применять передвижные установки, так как их работу можно увязать с направлением ветра, а установку расположить в районе ведения основных работ, где эффективность ее использования будет максимальной. Число передвижных установок для карьера обычно меньше, чем стационарных. Последние можно применять лишь при небольших размерах карьера.

Месторасположение вентиляторной установки должно обеспечивать наиболее полное развитие струи, создаваемой ею. При этом должны использоваться струи, дальнобойность и расход воздуха в которых максимальны, а энергия, теряемая струей вне карьера, минимальна.

Потери энергии струи вне карьера соответствуют минимальным скоростям, с которыми струя выходит из него. Однако эти скорости не должны быть ниже той, при которой обеспечивается достаточно эффективный вынос вредностей (примерно 0,5 м/с).

При выборе месторасположения вентиляторных установок необходимо иметь в виду, что вследствие высоких скоростей движения воздуха на начальных участках создаваемых ими струй контакт их с твердыми поверхностями может вызвать значительное пылеобразование. Поэтому установки должны располагаться так, чтобы на участках контакта струй с поверхностью карьера скорости движения воздуха на их осях не превышали 2,5...3,0 м/с для избежания взметывания пыли.

При загрязнении всего карьера или его значительной части необходима его общеобменная вентиляция.

Количественным критерием, позволяющим оценить, какой из способов вентиляции должен быть применен в конкретной ситуации, может быть отношение максимальной продолжительности разового нарушения естественного воздухообмена в карьере  $t_H$  к возможному времени  $t_o$  работы технологического оборудования с момента нарушения воздухообмена до момента допустимого накопления вредностей в рабочих зонах:

$$k = \frac{t_H}{t_o} \quad (8.17)$$

Допустимое время работы технологического оборудования в условиях нарушения воздухообмена в карьере может определяться по формуле

$$t_{\partial} = \frac{V(c_{\partial} - c_0)}{G} \quad (8.18)$$

где  $V$  – объем зоны загрязнения;

$c_{\partial}$  – ПДК вредностей;

$c_0$  – концентрация вредностей в атмосфере карьера в момент нарушения естественного воздухообмена;

$G$  – суммарная интенсивность поступления вредностей в атмосферу карьера (количество в единицу времени).

Формула (8.18) имеет те же особенности, что и формула (8.15).

С. С. Филатов считает, что при  $k \leq 1$  достаточно применять только местную вентиляцию, при которой оздоровление атмосферы в местах ее загрязнения может быть обеспечено усреднением содержания вредностей в атмосфере карьера. При  $k > 1$  необходимо применять общеобменную вентиляцию.

Общие положения о схемах местной и обменной вентиляции карьеров рассмотрены в разд. 7. Их надо учитывать как при оперативной организации вентиляции, так и при ее проектировании. В табл. 8.2 приведены типовые схемы искусственной вентиляции карьеров, предложенные С. С. Филатовым.

При выборе схем вентиляции следует учитывать направление и скорость ветра на поверхности. Желательно, чтобы вентиляторные установки работали по направлению ветра или под небольшими углами к нему. Однако это не всегда возможно, но в любом случае угол между направлением ветра и вентиляционной струи не должен превышать  $120^\circ$ .

### 8.10. Определение числа вентиляторных установок

При параллельной работе нескольких стационарных вентиляторных установок, создающих горизонтальные или наклонные струи, их число, необходимое для проветривания загрязненной зоны, определяется по формуле (рис. 8.4,а)

$$n = \frac{B}{kb}, \quad (8.19)$$

где  $B$  – ширина загрязненной зоны в плоскости, перпендикулярной к действию вентиляционных струй, м;

$k$  – коэффициент, учитывающий зону действия струи в пределах проветриваемого участка (В. С. Никитин и Н. З. Битколов рекомендуют следующие его значения: для двух струй  $k=1,6$ ; для трех и более  $k=1,3 \dots 1,2$ );

$b$  – ширина вентиляционной струи на границе загрязненной зоны,

$$b = 6,8 \cdot aL + d_0 \quad (8.20)$$

где  $L$  – расстояние от вентиляторной установки до границы загрязненной зоны, м;

$a$  – коэффициент структуры турбулентной струи ( $a=0,074\dots 0,08$ );  
 $d_0$  – начальный диаметр струи, м.

Таблица 8.2.

Типичные схемы проветривания карьеров.

Схема вентиляции	Схема установки вентилятора	Направление вентиляционных струй
	Одиночная на борту карьера	Наклонное
	Одиночная на дне карьера	Вертикальное
	Параллельная	Перпендикулярно к более длинной оси
	Последовательная	Горизонтальное, наклонное
	Последовательная	Горизонтальное, наклонное, вертикальное
	Параллельно-последовательная	Горизонтальное наклонное
	Параллельно-последовательная	Горизонтальное, наклонное, вертикальное

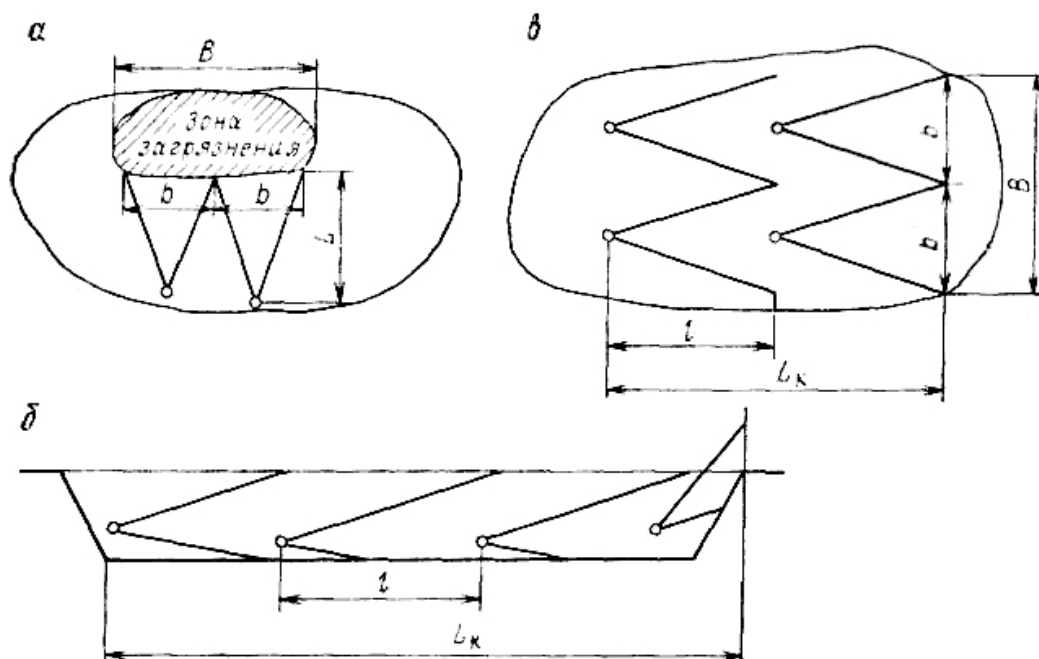


Рис. 8.4. Схемы к расчету числа вентиляторных установок, работающих: *a* – параллельно; *б* – последовательно (каскадно); *в* – параллельно-последовательно

Из формулы (8.19) можно определить требуемую ширину струи  $b$  на границе загрязненной зоны при работе одной вентиляторной установки. Для этого в формуле (8.19) необходимо принять  $k=2$ .

При последовательной (каскадной) работе необходимое число вентиляторных установок определяется по формуле (рис. 8.4,б)

$$n = \frac{L_k}{l}, \quad (8.21)$$

где  $L_k$  – длина каскада (расстояние от первой вентиляторной установки до конечного сечения струи последней установки), м;

$l$  – рабочая дальность струи одной вентиляторной установки, м. При параллельно-последовательной работе вентиляторных установок их общее число равно числу установок в одном каскаде, определяемому по формуле (8.21), умноженному на число каскадов в схеме  $n_k$  (рис. 8.4,в):

$$n = \frac{n_k L_k}{l}. \quad (8.22)$$

Число каскадов в схеме можно рассчитать по формуле (8.19). Тогда

$$n = \frac{BL_k}{kbl}. \quad (8.23)$$

Значения коэффициента  $k$  в формуле (8.23) можно принимать те же, что и при параллельной работе вентиляторных установок,

При динамической работе вентиляторной установки (установка в процессе работы перемещается) число установок определяется по формуле

$$n \geq \frac{Q}{q} \quad (8.24)$$

где  $Q$  – расход воздуха, необходимый для проветривания загрязненной зоны,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$q$  – подача вентиляторной установки,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

### 8.11. Оценка эффективности применения искусственной вентиляции

Оценка эффективности применения искусственной вентиляции карьера может быть произведена по времени, затрачиваемому вентиляторными установками на его проветривание.

Время работы системы вентиляции равно количеству вредностей  $G_0$ , которое необходимо удалить из карьера, деленному на количество вредностей  $G_B$ , выносимых из карьера системой вентиляции в единицу времени:

$$t = \frac{G_0}{G_B} \quad (8.25)$$

Количество вредностей, подлежащих удалению из карьера,

$$G_0 = V_k (c_d - c_{oc}), \quad (8.26)$$

где  $V_k$  – объем карьера;

$c_{oc}$  – остаточная концентрация вредностей, до которой необходимо проветривать карьер (считают, что остаточная концентрация, ниже которой экономически нецелесообразно проветривать карьер, равна  $0,3 c_d$ ).

Количество вредностей, выносимое из карьера системой вентиляции,

$$G_B = Q_B k (c_d - c_o) - (G_0 - G_o), \quad (8.27)$$

где  $Q_B$  – расход воздуха в вентиляционном потоке на выходе из карьера;

$k$  – коэффициент эффективности схемы вентиляции;

$c_o$  – концентрация вредностей в воздухе, поступающем в карьер;

$G_0$  – суммарная интенсивность выделения вредностей в карьер от всех концентрация вредностей в воздухе, поступающем в карьер;

$G_o$  – от источников, омываемых вентиляционным потоком.

Время однократного обмена воздуха в карьере при штиле

$$t = \frac{V}{131 \cdot q_0 \left( \frac{ah_3}{d_0} + 0,29 \right)} \quad (8.28)$$

где  $V$  – б объем зоны загрязнения;  
 $q_0$  – начальный дебит струи;  
 $h_3$  – высота уровня загрязнения от дна карьера;  
 $d_0$  – начальный диаметр струи.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: Недра, 1987. – 421 с.
2. Рудничная вентиляция: Справочник / Под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1988. – 440 с.
3. Клебанов Ф.С. Воздух в шахте. – М. 1995. – 575 с.
4. Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0 - 1.01 - 10. – К.: Держгірпромнагляд України, 2010. – 430 с.
5. Збірник інструкцій до Правил безпеки у вугільних шахтах. Керівний нормативний документ: – Т. 1. – К.: Мінпаливенерго, 2003. – 480 с. (Укр. та рос. частини); – Т. 2. – К.: Мінпаливенерго, 2003. – 416 с.
6. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – 311 с.
7. Схемы и способы управления газовой выделением на выемочных участках угольных шахт. Государственный нормативный акт по охране труда. – К., 2006. – 78 с.
8. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания: Справочник. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
9. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. - М.: Недра, 1977.
10. Борьба с угольной пылью в высокопроизводительных забоях. М., "Наука", 1975, 116 с.
11. Хурк Г. Нормализация тепловых условий в каменноугольных шахтах ФРГ: развития, мероприятия и достигнутые успехи. Глюкауф, 1982, № 19.
12. Николин В. И., Балинченко И. И., Симонов А. А. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах. М., "Недра", 1981, 300 с.
13. Волошин Н.Е., Ольховиченко А.Е., Воронин В. А. Газовыделение при выбросах. Разработка малоинерционной аппаратуры газовой защиты. Донецк, "Донбасс", 1976, 44 с.
14. Нечаев А. В. О некоторых особенностях выделения метана при газодинамических явлениях. Науч. труды ИГД им. А.А.Скочинского, 1981, сб. 195. Вопросы внезапных выбросов угля и газа в «угольных шахтах», с. 42-46.
15. Гусев М.Г., Медведев В.Н. Обнаружение газодинамических явлений средствами шахтной метанометрии. "Безопасность труда в промышленности"» 1983, № 3, с. 53-55.
16. Болбат И.Е., Гушин А.М., Шевченко В.Н. и др. Влияние дополнительного объема газа на нарушение проветривания горных выработок при внезапных выбросах угля и газа. В кн.: Способы и средства ведения горноспасательных работ и предупреждения аварий в шахтах. Донецк. ВНИИГД, 1979, вып. 16. с. 49-51.
17. Смоланов С.О., Голінько В.І., Грядущий Б.А. Основи гірничорятувальної справи - Дніпропетровськ, НГУ, 2002. - 267 с.
18. Белавенцев Л. П., Скрицкий В. А., Предупреждение эндогенных пожаров при бесцеликовой отработке выемочных полей. - Уголь, 1979, № 11, с. 47-50.

19. Патрушев М.А., Карнаух Н.В. Допустимое содержание метана в исходящих струях выемочных участков. В кн.: Совершенствование процессов очистной выемки и транспортирования, угля в сложных горно-геологических условиях Донбасса, Донецк, Донуги, 1981, с. 61-73.
20. Протодяконов М.М. Курс проветривания рудников. – Екатеринослав. 1914. – 158 с.
21. Голинько В.И., Яворская Е.А., Лебедев Я.Я. Повышение эффективности проветривания марганцевых шахт. – Днепропетровск: НГУ, 2010. – 91 с.
22. Долинский В.А., Кривцун Г.П., Лебедев Я.Я. Структура и аэродинамические свойства шахтных вентиляционных систем. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ:– 2002. – № 6. – С. 85 – 89.
23. Гладир В.В. Опрацювання комбінованих схем провітрювання тупикових заходок для шахт Марганецького ГЗК// Зб. наукових праць. Випуск 1. – Кривий Ріг. НДІБПГ. – 1999. – с. 40-46.
24. Гладир В.В. Розробка та промислові випробування ежекторно-каскадних схем провітрювання тупикових заходок МГЗК // Зб. наукових праць. Випуск 1. – Кривий Ріг. НДІБПГ. – 1999. – с. 46-51.
25. Мостепанов Ю.Б. Исследование дальнобойности стесненной струи, действующей в забое тупиковой выработки. – Изв. Вузов. Горный журнал, 1978, №11. с.47-50.
26. Игнатенко К.П. и др. Вентиляция, подземные пожары и горноспасательное дело. Изд. 3-е.- М. – Недра, 1975, 245 с.
27. Голинько В.И, Яворская Е.А., Лебедев Я.Я. К вопросу обоснования рациональных параметров элементов вентиляционных сетей марганцевых шахт // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: – 2009. – № 32. – С. 254–262.
28. 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.
29. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации / Стандарт – К.: Минтопэнерго Украины, 2004. – 162 с.

Навчальне видання

**Голінько** Василь Іванович  
**Лебедєв** Яків Якович  
**Муха** Олег Анатолійович

# **ВЕНТИЛЯЦІЯ ШАХТ І РУДНИКІВ**

Навчальний посібник

(Російською мовою)

Видано в редакції авторів

Підп. до друку 22.09.2014. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 14,8.  
Обл.-вид. арк. 14,8. Тираж 30 пр. Зам. № .

Підготовлено до друку та надруковано  
у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.