

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СЕВЕРО - КАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Кафедра «Горное дело»

## **АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
к лекционным, практическим занятиям и организации самостоятельной  
работы по дисциплине «Аэрология горных предприятий»

Для студентов, обучающихся по специальности 21.05.04 "Горное дело"  
Квалификация выпускника специалист.  
Форма обучения – очная, заочная

*Составители:* А.К. Джиеова  
Б.М. Битаров

Допущено  
редакционно-издательским советом  
Северо-Кавказского горно-металлургического института  
(государственного технологического университета)

ВЛАДИКАВКАЗ 2020

УДК 622.41

ББК 33.18

Д 41

*Рецензент:*

доктор технических наук, профессор  
Северо-Кавказского горно-металлургического института  
(государственного технологического университета)  
**Кожиев Х.Х.**

**Аэрология горных предприятий** [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие к лекционным, практическим занятиям и организации самостоятельной работы по дисциплине «Аэрология горных предприятий» для студентов, обучающихся по специальности 21.05.04 "Горное дело". Квалификация выпускника специалист. Форма обучения – очная, заочная /Сост.: А.К. Джиева, Б.М. Битаров; Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет). – Электрон. текст. дан. (5,9 МБ). – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2020.

Режим доступа: <http://www.skgmi-gtu.ru/ru-ru/lib/resources/e-catalogues/ctl/DetailPublicationView/mid/3869?catalogID=4&publicationID=5fbe17f5bc1f552700a10726>

Загл. с титул. экрана.

Учебно-методическое пособие предназначено для подготовки к лекционным, практическим занятиям и организации самостоятельной работы по дисциплине «Аэрология горных предприятий». В пособии в лекционной части освещены следующие вопросы: Составные части рудничного воздуха и их физико-химические свойства, действие на человека, источники поступления. Климатические условия горных предприятий. Рудничная аэромеханика. Шахтные вентиляционные сети, их классификация. Способы и схемы вентиляции. Проектирование вентиляции рудников. Аэрология карьеров.

Практическая часть пособия содержит примеры выполнения следующих расчетов: определение расхода воздуха для вентиляции рудника; определение расхода воздуха для вентиляции проходческих выработок; определение расхода воздуха для вентиляции лавообразных очистных выработок и камер; определение расхода воздуха для вентиляции горизонта выпуска и отдельных зон; выбор вентилятора главного проветривания.

Материалы учебно-методического пособия позволяют добиться высокой степени интенсификации познавательной активности студентов.

Подготовлено кафедрой «Горное дело».

© Составление. ФГБОУ ВО СКГМИ (ГТУ), 2020

© Джиева А.К., Б.М. Битаров, составление, 2020

*Учебное электронное издание*

Выпущено в авторской редакции, пунктуации и орфографии

Компьютерная верстка: Джиева А.К.

Для создания электронного издания использованы:  
MicrosoftOfficeWord 2007

Подписано к использованию: 30.09.2020 г.

Объем 5,9 Мб

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет).  
362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Кафедра «Горное дело».

## Содержание

	стр.
Введение	5
I. Теоретическая часть	
1. Атмосферный воздух, изменение его состава и физических параметров при движении по горным выработкам. Физические свойства кислорода и азота	8
2. Составные части рудничного воздуха и их физико-химические свойства, действие на человека, источники поступления	10
3. Рудничная пыль, профессиональная вредность и причина взрыва. Горючие и взрывчатые свойства пыли	16
4. Климатические условия горных предприятий	18
5. Понятие о аэростатике. Закон Паскаля и Архимеда	21
6. Виды давлений в движущемся воздухе. Основные законы аэродинамики. Законы сохранения массы, энергии. Понятие о депрессии	22
7. Ламинарный и турбулентный режим движения воздуха. Число Рейнольдса. Характеристика турбулентных свободных струй	24
8. Закон сопротивлений. Аэродинамическое сопротивление горных выработок. Виды сопротивлений: местные, лобовые и их расчёт. Особенности расчёта сопротивления стволов. Единицы сопротивлений, Эквивалентное отверстие рудника и построение графика характеристики вентиляционной сети	28
9. Шахтные вентиляционные сети, их классификация. Сопротивление последовательной и параллельной сети выработок. Преимущества параллельной вентиляционной сети. Диагональная схема вентиляции. Общая депрессия и сопротивление сети	33
10. Естественная тяга. Факторы, влияющие на величину естественной тяги. Методы замера и расчёты	35
11. Способы и схемы вентиляции	38
12. Вентиляционные сооружения, их назначение, разделение на группы и предъявляемые требования к ним. Проветривание тупиковых выработок нагнетательным, всасывающим и комбинированным способом. Проектирование вентиляции тупиковых выработок. Вентиляционное оборудование	42
13. Проектирование вентиляции рудников. Порядок проектирования, выбор схемы вентиляции. Определение расхода воздуха по людям, одновременно взрываеваемого ВВ, по выносу пыли, по выхлопным газам, по добыче. Позабойный метод	47
14. Распределение воздуха по выработкам, проверка сечения выработки по допустимой скорости движения воздуха. Расчёт депрессии рудника. Выбор вентилятора главного проветривания при различных схемах вентиляции	50

15.Аэрология карьеров	51
II Практическая часть	59
Практическая работа №1	59
Определение расхода воздуха для вентиляции рудника	
Практическая работа №2	
Определение расхода воздуха для вентиляции проходческих выработок	61
Практическая работа №3	
Определение расхода воздуха для вентиляции лавообразных очистных выработок и камер	63
Практическая работа №4	
Определение расхода воздуха для вентиляции горизонта выпуска и отдельных зон	66
Практическая работа №5	
Выбор вентилятора главного проветривания	67
Список литературы	69

## Введение

Первой и наиважнейшей задачей при разработке полезных ископаемых является обеспечение безопасности и комфортных условий работы персонала горного предприятия. При несоблюдении этих условий главная контролирующая организация – Госгортехнадзор, немедленно приостанавливает работу предприятия до выполнения необходимых мер по обеспечению безопасности труда.

Основное внимание среди всех мероприятий по технике безопасности для обеспечения этих условий уделяется вопросам вентиляции горных выработок, которые решаются комплексно с технологией разработки. Все технологические операции по добыче полезного ископаемого в первую очередь увязываются с вопросами вентиляции. Кроме выработок, обеспечивающих выполнение технологических операций, проходятся значительное количество специальных вентиляционных выработок. Некоторые из них сохраняются на весь срок службы рудника. Рудники обеспечиваются различными видами дорогостоящих и мощных энергопотребляющих стационарных вентиляционных установок, кондиционерами, средствами пылеподавления, устройствами управления воздушными струями. На предприятиях организуются специальные вентиляционные службы контроля рудничного воздуха и обслуживания вентиляционных установок. Все затраты на вентиляцию, естественно, ложатся на себестоимость продукции и влияют на прибыльность предприятия, поэтому велика роль рациональной организации вентиляции шахты.

Научной основой разработки проектов и организации вентиляции шахт является аэрология горных предприятий. Аэрология горных предприятий, как наука, изучает состав и свойства рудничной атмосферы, их изменение, законы движения воздуха, переноса его газообразных примесей, пыли и тепла в горных выработках, источники поступления в рудничный воздух вредных примесей. Основоположниками отечественной рудничной аэрологии являются А.А.Скочинский, В.Б.Комаров. Большой вклад в ее развитие внесли А.Н.Щербань, В.Н.Воронин, А.И.Ксенофонтова, П.И.Мустель, К.З. Ушаков, И.И.Медведев.

В области промышленной вентиляции работали В.В.Батурин, А.В.Калмыков, М.П.Калинушкин и др.

Научно обоснованный проект вентиляции учитывает процесс развития горных работ и соответствующие изменения вентиляционной сети за время срока существования предприятия, сезонные изменения погоды и другие факторы, влияющие на состояние рудничной атмосферы. Осуществлением

вентиляции горных выработок и рабочих мест по проекту обеспечивается комфортная температура, влажность и скорость движения воздуха, содержание ядовитых газов и пыли в пределах допустимых концентраций (ПДК), определяемых санитарными нормами, содержание взрывоопасных газов и пыли в пределах, исключающих образования взрывчатых смесей с воздухом. При выделениях инертных газов вентиляция обеспечивает достаточное для дыхания количество кислорода в воздухе рабочих мест.

Вентиляция шахты входит отдельной главой в дипломный проект, которым завершается обучение в институте. Пояснительная записка с расчётами количества подаваемого в шахту воздуха на основе сечений выработок, их протяжённости, интенсивности поступления в рудничный воздух вредных примесей, выбором вентиляционного оборудования сопровождается графическим изображением вентиляционных установок и вентиляционной сети. Наиболее информативно изображение вентиляционной сети в трёх измерениях.

Дисциплина «Аэрология горных предприятий» относится к базовой части «Дисциплины (модуля)» образовательной программы по направлению 21.05.04 «Горное дело» (Б1.Б.25). Дисциплина «Аэрология горных предприятий» изучается в 9, А семестре/5 курсе (очная/заочная форма обучения). Общая трудоемкость дисциплины в соответствии с учебным планом составляет 6 зачетных единиц (216 часов).

Цель изучения дисциплины «Аэрология горных предприятий»:

- владение навыками непосредственного управления технологическими процессами на производственных объектах;
- создание атмосферы горных предприятий, соответствующей нормативным документам;
- умение пользования методами расчета при нормализации атмосферы горных предприятий;
- приобретение навыков в выборе техники и способов по обеспечению надежности и управляемости систем нормализации атмосферы горных предприятий.

Задачи изучения дисциплины «Аэрология горных предприятий»:

- освоение расчетов простых и сложных вентиляционных сетей, определение необходимого количества воздуха для поддержания надлежащей по составу и климатическим параметрам шахтной атмосферы;
- выбор и расчет способов и средств доставки воздуха к местам его потребления, методов управления воздушными потоками, а также

освоение методов и средств контроля за составом рудничной атмосферы

Для усвоения материала лекций необходимо знание общеобразовательных и смежных специальных дисциплин: математики, физики, химии, гидравлики, начертательной геометрии, инженерной графики, геологии, технологии разработки месторождений, горной механики, стационарные установки.

## 1. АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ, ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО СОСТАВА И ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ГОРНЫМ ВЫРАБОТКАМ.

Атмосферный воздух, окружающий Землю, состоит из смеси газов и паров. С увеличением высоты уменьшаются такие физические параметры воздуха как температура, плотность, давление и влажность и увеличивается содержание озона.

Средний состав атмосферного воздуха на уровне моря в процентах по объёму:

Азот.....	78,08
Кислород.....	20,95
Углекислый газ, инертные газы, озон, радон, перекись водорода, аммиак, йод.....	0,94
Плотность воздуха при нормальных условиях	1,206 кг/м <sup>3</sup> .

Кроме газов в атмосфере всегда содержатся механические примеси: пыль, мельчайшие капельки влаги, кристаллы льда и водяной пар (около 1% по объёму).

Перемещаясь по подземным горным выработкам, атмосферный воздух претерпевает изменения по составу и физическим параметрам. Меняются его плотность, давление, температура, скорость движения, влажность, химический состав, количество пыли, копоти и т.п.

При движении воздуха вниз по стволу давление воздуха увеличивается. С увеличением абсолютного давления плотность воздуха пропорционально увеличивается. Если на уровне моря давление воздуха равно 760 мм. рт.ст., то в глубоких шахтах атмосферное давление достигает 850 мм. рт.ст. При работе вентилятора на всасывание давление рудничного воздуха меньше атмосферного, при работе на нагнетание больше.

В подземных выработках суточные и сезонные колебания температуры воздуха меньше, среднегодовая температура выше, чем на поверхности. С глубиной температура воздуха повышается и в глубоких шахтах может превышать 30°C. Скорость движения воздуха может быть значительна (8 м/с и более). Влажность рудничного воздуха из-за притока в выработки подземных вод составляет 80-90 %. При разработке гигроскопических полезных ископаемых влажность воздуха снижается до 16-60 %.

Состав рудничного воздуха отличается от атмосферного меньшим содержанием кислорода из-за расхода на дыхание людей, притока углекислого газа, азота, метана, окиси углерода и др. Главные причины снижения содержания кислорода; процессы медленного окисления

органических и неорганических веществ (крепёжного леса, пород, полезных ископаемых), рудничные пожары и взрывы метановоздушной смеси и пыли, поглощающих кислород.

Содержание газов в рудничном воздухе выражается объёмным или массовым содержанием в процентах. С некоторой условностью рудничный воздух до очистных и подготовительных выработок называется свежим, а далее отработанным (или испорченным). Воздушная струя, движущаяся от воздухоподающего ствола к забоям, называется *поступающей*, а от забоев к воздуховыдающему стволу – *исходящей*.

*Азот* – газ без цвета, запаха и вкуса, плотность относительно воздуха 0,97, он не поддерживает дыхание и горение, слабо растворяется в воде. Увеличение его содержания в рудничной атмосфере с соответствующим уменьшением содержания кислорода ухудшает условия работы, а в критических обстоятельствах приводит к кислородному голоданию.

Источники дополнительного поступления азота в шахтах:

- 1) процессы гниения органических веществ;
- 2) взрывные работы (например 1 кг чистого нитроглицерина выделяет 135 л азота);
- 3) выделение из трещин угля или пород вместе с метаном.

*Кислород* – газ без цвета и запаха. Удельный вес его при нормальных условиях – 1,428 кг/м<sup>3</sup>. Кислород – элемент чрезвычайно активный, он легко соединяется с многими простыми и сложными газами. Он необходим для поддержания дыхания и горения, слабо растворим в воде.

В процессе дыхания кислород воздуха проникает через альвеолы лёгких, соединяется с гемоглобином крови, участвует в реакциях жизнеобеспечения организма и удаляется через альвеолы лёгких в виде двуокиси углерода. При этом в теле человека образуется теплота в количестве 4,8 ккал на 1 л кислорода. Усвоение кислорода лучше всего происходит при парциальном давлении около 160 мм рт. ст. Благодаря способности человека приспосабливаться, дыхание возможно при парциальном давлении 65 – 90 мм рт. ст., т.е. от 9 до 12% по объёму при общем атмосферном давлении 760 мм рт. ст., если остальная часть состоит из азота или подобного инертного газа и переход из нормальных условий происходит постепенно. При длительном кислородном голодании наступает смерть от удушья. Правилами безопасности требуется, чтобы содержание кислорода в действующих забоях было не менее 20%.

## 2. СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА И ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА, ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ

*Углекислый газ* (углекислота) – бесцветный газ, со кислым вкусом и кислым запахом. Удельный вес его  $1,96 \text{ кг/м}^3$ . Он ядовит в слабой степени, раздражающе действует на оболочки глаз, рта и носа. Не поддерживает дыхание и горение. Сильно поглощается водой – при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст. в 100 объёмах воды растворяется 180 объёмов  $\text{CO}_2$ .

Углекислый газ стимулирует дыхание человека – частота дыхания зависит от содержания его в лёгких. При физических нагрузках содержание  $\text{CO}_2$  в лёгких увеличивается, что вызывает повышение частоты и глубины дыхания (3% - частота дыхания удваивается; 5% - дыхание утраивается; дыхание весьма тяжёлое; 6% - сильная одышка и слабость; 10% - обморочное состояние; 20 - 25% угроза смертельного отравления). При содержании  $\text{CO}_2$  более 0,2% газ начинает действовать отравляюще. Обогащение крови углекислым газом и обеднение её кислородом вызывает специфическое ядовитое действие на нервные центры, возникает недомогание и при дальнейшем развитии может угрожать смертью. ПДК окиси углерода 0,5% по объёму.

Обладая большим объёмным весом чем воздух, углекислый газ накапливается в нижних частях вертикальных и наклонных выработок, образуя при слабом проветривании опасные скопления.

Главные источники образования углекислого газа;

а) процессы разложения органических веществ, главным образом при гниении крепёжного леса;

б) процессы разложения горных пород органического и неорганического происхождения: окисление угля, разложение углекислых пород кислыми шахтными водами (серная кислота, образующаяся при разложении серного колчедана, разлагает доломиты с образованием двуокиси углерода);

в) выделение ископаемого углекислого газа из горных пород вместе с метаном или в чистом виде. Углекислый газ и метан образуется в процессе образования угля из растительности в результате деятельности бактерий и других факторов в тем большем количестве, чем дольше этот процесс происходил. Наиболее насыщены метаном антрациты – самый качественный уголь. При обнажении пластов через трещины газ истекает с шипением. В некоторых случаях выделение газа происходит весьма бурно – в виде внезапных выбросов газа и угольной мелочи в огромных количествах.

Второстепенные источники обогащения рудничного воздуха углекислым газом:

а) дыхание людей. Выдыхаемый человеком воздух содержит около 4%CO<sub>2</sub>, или 50 л/час;

б) применение машин с двигателями внутреннего сгорания (до 60л/л.с.час);

в) взрывные работы (до 250 л/кг ВВ).

*Метан* (СН<sub>4</sub>) – основная часть рудничного газа, выделяющегося в горные выработки из пород и полезного ископаемого. Метан без цвета, запаха и вкуса. Плотность его при нормальных условиях 0,716 кг/м<sup>3</sup>. Относительная плотность его 0,554. Растворимость в воде 3,5%. При обычных условиях метан инертен. Для организма человека в небольших концентрациях он безвреден. Повышенное содержание оказывает влияние на человека вследствие уменьшения содержания кислорода в воздухе. При 50 – 80% метана в воздухе и нормальном содержании кислорода вызывает сильную головную боль и сонливость. Примеси к метану этана и пропана придаёт воздуху слабое наркотическое свойство.

Температура воспламенения метана 650 – 750°С в зависимости от концентрации его в воздухе и состава воздуха.

С воздухом метан образует горючие смеси: при содержании 5 -6% он горит около источника тепла, от 5 -6 до 14 - 16% взрывается, свыше 14 – 16% не горит и не взрывается. Наибольшей силы взрыв достигает при содержании в воздухе 9,5% метана. При большем содержании из-за недостатка кислорода метана часть его остаётся несгоревшей и благодаря большой теплоёмкости охлаждает пламя взрыва.

Наиболее легко воспламеняются с переходом во взрыввоздушные смеси, содержащие 7 – 8% метана.

Вспышка смеси происходит с некоторым запаздыванием после контакта с источником тепла. Время запаздывания вспышки называется индукционным периодом. Эффективность предохранительных ВВ заключается в том, что время остывания продуктов взрыва ВВ до температуры ниже температуры воспламенения метана меньше индукционного периода.

Температура продуктов взрыва в неограниченном объёме достигает 1875°С, а в замкнутом объёме 2150-2650°С. Давление газов после взрыва в замкнутом объёме достигает 9 кгс/см<sup>2</sup>, на фронте ударной волны – 30 кгс/см<sup>2</sup> и выше. Скорость распространения реакции взрыва изменяется от нескольких десятков до нескольких сотен метров в секунду. С увеличением содержания метана до 5 – 6% скорость распространения взрыва возрастает и

в дальнейшем падает, а при 14 – 15% уменьшается до нуля. При взрыве наблюдается прямой удар, когда взрывная волна распространяется от центра взрыва, и обратный, когда взрывная волна движется к центру взрыва вследствие разряжения за фронтом прямой волны после остывания газов и конденсации паров воды. Обратный удар всегда слабее прямого. При этом различают два вида пламени - первичное и вторичное. Первичное пламя соответствует взрывному горению, вторичное – горение несгоревших остатков метана в объёме взрыва при притоке кислорода из прилегающих выработок.

Метан в недрах образовался одновременно с залежами угля в результате метаморфизма первичной органической массы, покрытой толщей наносов и лишённой доступа кислорода. Повышение газопроницаемости налегающих пород способствует дегазации месторождения.

Разложение клетчатки в процессе брожения, вызванного деятельностью анаэробных бактерий, происходил примерно по следующей схеме



$C_9H_6O$  – твёрдый остаток, соответствующий ископаемому углю.

В породах метан находится в свободном и сорбированном (связанном) состоянии. На глубине, где давление газа достигает  $50 \text{ кг/см}^2$ , основное количество находится в сорбированном состоянии: на поверхности твёрдого вещества под действием сил молекулярного притяжения (адсорбция), в межкристаллической решётке твёрдого вещества с образованием «твёрдого раствора» (абсорбция) и в химически связанном состоянии с молекулами твёрдого вещества (хемосорбция). Основное количество метана находится в адсорбированном состоянии.

Метаноносность – количество метана в единице массы или объёма угля или породы ( $\text{м}^3/\text{т}$  или  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ). Одним из факторов, определяющих метаноносность угля и пород, является их пористость. Пористость угля 1 – 5%, пород – от 0 до 60%.

Количество образовавшегося метана зависит от степени метаморфизма угля. Объём образовавшегося метана может в несколько десятков раз превышать объём угля. С глубиной залегания метаноносность пластов угля увеличивается в гиперболической зависимости и достигает 25 – 35  $\text{м}^3/\text{т}$  угля. Метаноносность пород достигает 4 - 6  $\text{м}^3/\text{т}$ .

Вековое движение метана к поверхности и воздушных и биохимических газов во встречном направлении обусловили образование в земной коре четырёх газовых зон: азотно-углекислых, азотных, азотно-

метановых и метановых газов. Обводнённость месторождения создаёт условия для выноса метана подземным водами в результате его растворения.

В горных выработках метан выделяется с обнажённых поверхностей угольных пластов, из отбитого угля и в небольших количествах с обнажённых поверхностей пород.

Различают обыкновенное, суфлярное и внезапное выделение метана.

*Обыкновенное выделение* метана происходит через мелкие, невидимые трещины, в первые моменты оно составляет от 5 – 7 до 50 л/мин с 1м<sup>2</sup> поверхности обнажения, иногда сопровождается шипением или лёгким потрескиванием отрывающихся частичек угля. Затем его интенсивность падает и через 6 – 12 месяцев прекращается.

*Суфлярное выделение* происходит из крупных, видимых трещин, часто в зонах геологических нарушений (суфляры – газовые фонтаны) с шипением, если газ походит через слой воды, то с бурным клокотанием.

*Внезапное выделение* – выбросы газа большой массой в течении короткого времени, сопровождающиеся выбросом тонкоизмельчённого угля. Количество выбрасываемого метана достигает до 500 тыс. м<sup>3</sup> и более, горной массы – от 1 -2 до 5000т.

Внезапным выбросам предшествуют удары, толчки, гул в массиве угля, осыпание забоя, повышение газовыделения. Им способствуют взрывные работы, концентрация напряжений в острых углах выработок и зонах опорного давления.

По степени метанообильности шахты делятся на пять категорий (таблица 1):

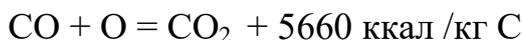
Таблица 1

Категории шахт по метану

Категория шахты по метану	Метанообильность шахты, м <sup>3</sup> / т
I	До 5
II	От 5 до 10
III	От 10 до 15
Сверхкатегорные Опасные по внезапным выбросам	15 и более; шахты опасные по суфлярным выделениям Шахты, разрабатывающие пласты, опасные или угрожающие по внезапным выбросам угля и газа; шахты с выбросами породы

Допустимое содержание метана в вентиляционной струе, исходящей из очистной, подготовительной выработки, камеры, участка – 1% по объёму, исходящей из крыла, шахты – 0,75%, Поступающей в очистные, подготовительные выработки – 0,5%. В местных скоплениях 2%.

*Оксид углерода (СО)* – газ без цвета, вкуса и запаха. Удельный вес его 0,97. Он слабо растворим в воде. Оксид углерода горюч и взрывчат. Образуется при неполном сгорании углерода (при недостатке кислорода) или при  $\text{CO}_2$  углеродом, металлами, парами воды.



В смеси с воздухом СО взрывчат в концентрациях от 13 -16 до 75%. Наибольшая сила взрыва достигается при содержании СО в воздухе около 30%. Температура воспламенения смеси 630 – 810°С.

Оксид углерода ядовит. Гемоглобин крови в 250 – 300 раз легче соединяется окисью углерода, чем с кислородом, и замещает его, поэтому начинается кислородное голодание и может наступить смерть. ПДК – 0,0016% по объёму.

Главными источниками СО в шахтах являются пожары, взрывы метановоздушной смеси или угольной пыли, взрывные работы, работа двигателей внутреннего сгорания.

*Оксиды азота* образуются при взрывных работах и представляют собой смесь из  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}_5$ . Эти оксиды имеют бурый цвет и характерный резкий запах. Наиболее устойчивы в воздухе  $\text{NO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Плотность двуокси азота в нормальных условиях (при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 20°С) -2,05 кг/м<sup>3</sup>.  $\text{N}_2\text{O}_4$  при тех-же условиях равна 4,11 кг/м<sup>3</sup>. Раствор  $\text{NO}_2$  в воде является сильной азотной кислотой.

Оксиды азота весьма ядовиты, вызывают раздражение слизистых оболочек дыхательных путей и глаз, в тяжёлых случаях – отёк лёгких. Действие их проявляется через 4 – 6 часов. Симптомы отравления: кашель, головная боль, рвота, синюшность, повышение температуры тела, расстройство сердечной деятельности. Содержание оксидов азота в рудничном воздухе не должна превышать 0,00025% в пересчёте на  $\text{NO}_2$ .

*Сернистый газ (SO<sub>2</sub>)* – газ без цвета, с сильным раздражающим запахом и кислым вкусом, плотность газа при нормальных условиях 2,86 кг/м<sup>3</sup>. При 20°С в одном объёме воды растворяется 40 объёмов. Сернистый газ весьма ядовит: он раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, при тяжёлых отравлениях вызывает воспаление бронхов, отёк гортани и лёгких. Содержание  $\text{SO}_2$  в рудничном воздухе 0,00035% по объёму.

Сернистый газ образуется при взрывных работах в серосодержащих породах, при рудничных пожарах и выделяется из горных пород.

*Сероводород (H<sub>2</sub>S)* – газ без цвета, со сладковатым вкусом и запахом тухлых яиц; плотность газа при нормальных условиях 2,86 кг/м<sup>3</sup>. При 20°С в одном объёме воды растворяется 4,4 объёмов сероводорода. Сероводород

горюч, при содержании в воздухе 6% взрывается, поэтому шахты с выделением сероводорода относятся к опасным по взрыву газов.

Сероводород ядовит, действует раздражающе на слизистые оболочки глаз и дыхательных путей. Симптомы отравления (с увеличением степени отравления): раздражение и жжение в глазах и дыхательных путях, усталость, тошнота, рвота, обморок, Смертельное отравление наступает при содержании 0,1% даже при кратковременном воздействии (запах сероводорода ощутим при содержании в воздухе от 0,0001%). Допустимая концентрация 0,00066% по объёму.

Сероводород выделяется в рудничную атмосферу из горных пород (особенно из каменной соли) и минеральных водных источников, образуется при гниении органических веществ, разложении серосодержащих пород, при рудничных пожарах, взрывных работах. При содержании серы в породах 12% и более шахта считается опасным по газу.

*Водород* (H<sub>2</sub>) – бесцветный газ без вкуса и запаха, объёмный вес при нормальных условиях 0,09 кг/м<sup>3</sup>. Водород горит и взрывается при содержании в воздухе от 4 до 74%. Температура воспламенения на 100 – 200° ниже температуры воспламенения метана. В рудничный воздух водород выделяется из пород, калийных пластов и из угля средней степени метаморфизма, при зарядке аккумуляторных батарей.

Шахты с выделением водорода относятся к опасным по газу и делятся на четыре категории (таблица 2)

Таблица 2

Категории шахт по водороду

Категория шахты	Количество выделяющегося газа в м <sup>3</sup> на м <sup>3</sup> среднесуточной добыче горной массы
I	До 7
II	От 7 до 14
III	От 14 до 21
Сверхкатегорные	21 и выше или рудники, разрабатывающие пласты, опасные по выбросам и суфлярам

Примечание. Принимается, что 1 м<sup>3</sup> водорода эквивалентен 2 м<sup>3</sup> метана.

Максимально допустимое содержание водорода в воздухе 0,5%.

*Акролеин* (CH<sub>2</sub>CHCOOH)– бесцветная, легко испаряющаяся жидкость, образуется при разложении дизельного топлива под действием высокой температуры. В атмосфере выработок присутствует в виде пара с относительной плотностью 1,9, хорошо раствор в воде.

Акролеин ядовит, раздражает слизистые оболочки, вызывает головокружение, тошноту, боли в желудке, рвоту. Пребывание в атмосфере, содержащей 0,014% акролеина, в течение 10 мин опасно для жизни. Максимально допустимое содержание в воздухе 0,00008%.

*Формальдегид* (НСОН), как все другие альдегиды образуются при работе двигателей внутреннего сгорания. Все альдегиды ядовиты, раздражают оболочки глаз, дыхательных путей, действуют на центральную нервную систему. Наиболее опасен формальдегид. Его плотность относительно воздуха 1,04. Он легко растворим в воде. Формальдегид вызывает некроз кожи, конъюнктивит, насморк, бронхит, чувство слабости, расстройство пищеварения, головные боли, сердцебиение, отсутствие аппетита, заболевание слизистых оболочек. Максимально допустимая концентрация формальдегида 0,00037%.

При разработке урановых и ториевых руд в рудничный воздух поступают газообразные продукты распада этих руд: *радон* RN, торон Tпи актион An. Опасность этих газов обусловлена ионизирующим излучением, поражающим клетки живого организма, образованием перекиси водорода, изменяющая строение клетки и разрушающая жизненно важные ферменты.

Допустимое содержания *радона* в рудничном воздухе равна  $10^{-9}$  Кил/л, что соответствует  $2,2 \cdot 10^3$  распадам в 2мин.

*Аммиак* (NH<sub>3</sub>) – газ без цвета, с резким характерным запахом, относительная плотность его 0,595. Газ хорошо растворим в воде. При содержании в воздухе 30% аммиак взрывается. Аммиак ядовит, раздражает слизистые оболочки и кожу, при высоких содержаниях вызывает отёк гортани.

Аммиак образуется при разложении азотсодержащих соединений, возможно выделение при взрывных работах, при тушении пожаров (при контакте воды с раскалённым углем), при разработке апатито-нефелиновых руд. Допустимое содержание 0,0025%.

### **3. РУДНИЧНАЯ ПЫЛЬ, ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ВРЕДНОСТЬ И ПРИЧИНА ВЗРЫВА. ГОРЮЧИЕ И ВЗРЫВЧАТЫЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ**

Взвешенная в воздухе рудничная пыль – аэрозоль состоит из мелких и мельчайших частиц. Аэрозоль горючих веществ энергично окисляется с выделением тепла. При определённых концентрациях и температуре воспламенения такая пыль взрывается.

*Угольная пыль.* В присутствии метана и его воспламенении примесь угольной пыли значительно увеличивает силу взрыва. Присутствие тонкой и сухой угольной пыли снижает нижний предел взрываемости метана до 5%. Продукты взрыва угольной пыли всегда содержит большое количество окиси углерода. Температура воспламенения угольной пыли составляет 700-800°C, а метано-воздушной смеси 650-750°C.

Особенности взрыва угольной пыли:

- 1) параметры взрыва зависят от дисперсности пыли, содержания в ней влаги, от геометрии пространства и мощности источника воспламенения;
- 2) от химического состава пыли зависит выход летучих продуктов, принимающих участие во взрыве;
- 3) взрыву предшествует накопление тепла при реакции окисления и образование газообразных продуктов;
- 4) облако угольной пыли способно заряжаться статическим электричеством вследствие трения пылинок друг с другом до саморазряда искрой, которая может воспламенить пыль;

Одним из основных факторов, определяющих склонность угольной пыли к взрыву, является выход летучих горючих веществ: метан, водород, окись углерода, сероводород, этан и тяжёлые углеводороды. Источником их являются смолистые соединения и тяжёлые углеводороды, входящие в состав частиц пыли.

С увеличением выхода летучих веществ давление в месте взрыва возрастает. Существует критическое значение выхода летучих веществ, ниже которого угольная пыль перестаёт взрываться. Опасными являются пласты угля с выходом летучих 15% и более (в Польше, Чехии, Голландии считаются опасными при выходе летучих более 12 – 14%, в Англии – 20%, в США – 3,1 – 7,9%).

Существенным фактором, определяющим взрывчатость угольной пыли, является его дисперсный состав. С увеличением дисперсности (уменьшением размера частиц и увеличением удельной поверхности пыли) от 500 до 150 мкм взрывчатость растёт прямолинейно, потом резко возрастает, достигая максимума при диаметре частиц 10 мкм. При этом соответственно возрастает скорость распространения пламени. Температура воспламенения пыли падает с уменьшением размера частиц. При размерах менее 0,1 мкм температура воспламенения остаётся постоянной.

Влага, обладающая большой теплоёмкостью и теплотой испарения, действует как инертная добавка, снижая тепловой баланс реакции взрыва. Кроме того, влага коагулирует мелкие частицы в более крупные с меньшей удельной поверхностью. В большом количестве вода способствует осаждению пыли и очистке воздуха.

Взвешенная в рудничном воздухе пыль с любым содержанием влаги может взорваться при мощном источнике тепла.

Наличие золы в угольной пыли при содержании летучих менее 15% взрывчатость существенно снижается, при 30% содержании летучих не оказывает влияния.

Взрывчатость *пыли горючих сланцев* определяется теми же факторами, что и угольной.

*Сульфидная и серная пыль* (пыль свободной, самородной серы). При разработке медных и серноколчеданных руд с большим содержанием пирита (50 -90%) опасность представляют взрывы сульфидной пыли с образованием сернистого газа.

Основным источником воспламенения сульфидной пыли являются раскалённые газообразные продукты, образующиеся при взрывных работах.

Вследствие большой плотности, сульфидная пыль не распространяется далеко от места образования.

Кроме того, рудничная пыль вызывает лёгочные профессиональные заболевания - пневмокониозы: угольная пыль – антракоз, минеральная пыль содержащая окись кремния – силикоз. Основным способом борьбы с этими заболеваниями являются вентиляция и пылеподавление орошением.

#### **4. КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

В результате тепло и массообменных процессов в рудничном воздухе создаётся особое метеорологическое состояние. Тепловой режим шахт не постоянен, причины изменений подразделяются на внешние и внутренние. Внешние – климатические условия данного района, имеющие свой суточный и годовой ход. Внутренние причины зависят от глубины разработки, физико-химических свойств пород, технологии ведения горных работ, работающих механизмов и людей.

Колебания климатических параметров: температуры, влажности, скорости, барометрического давления, могут вызвать обмерзание шахтных стволов и штолен, рабочих и резервных каналов вентиляторов; разрушение вентиляционных сооружений и предохранительных целиков, рельсового полотна; обвалы и пучение стенок выработок в многлетнемёрзлых породах.

Воздух, поступающий в шахту зимой, охлаждает стенки воздухоподающей выработки, а сам нагревается, летом наоборот – воздух охлаждается, а стенки выработок нагреваются. Теплообмен наиболее интенсивно происходит у устья и на некотором расстоянии затухает, температура воздуха становится близкой к температуре пород. Слой породы, температура которого меняется в результате теплообмена, называется тепловыравнивающей рубашкой или оболочкой. Протяжённость и толщина этой оболочки зависит от количества искорости движения воздуха, разности температур воздуха и пород, физических свойств пород. При небольшом количестве поступающего воздуха амплитуда колебаний его температуры

затухает на небольшом расстоянии. При большом количестве амплитуда не затухает даже в очистных выработках.

Проходя через влажные выработки, особенно с капежом, воздух быстро увлажняется, и относительная влажность становится близкой к 90 – 95%. Если выработки сухие, то относительная влажность определяется влажностью атмосферного воздуха и приобретённой им в шахте температурой. При охлаждении воздуха в выработках относительная влажность даже в сухих выработках может достичь 100%, т.е. влага начинает конденсироваться. В зимнее время поступающий в выработки воздух нагревается, относительная влажность понижается и происходит подсушивание стенок выработок.

Температура горных пород с увеличением глубины возрастает. Интенсивность его увеличения оценивается величиной *геотермического градиента* – приращения температуры °С с углублением на 1м. Эта величина меняется от региона к региону и составляет в среднем 0,03°С.

Геотермическая ступень – число метров по вертикали, соответствующая увеличению температуры пород на 1°С. Для битуминозных отложений оно равно 10 – 15м, для угольных месторождений 30 – 35м, для рудных 45 – 70м/°С.

К другим факторам, влияющим на температуру воздуха, относятся:

1. Сжатие воздуха при движении вниз по вертикальным и наклонным выработкам и разрежение при движении вверх. Ориентировочно можно принять, что через 100м воздух нагревается или охлаждается на 1°С.

2. Окисление полезного ископаемого, горных пород и крепёжного леса. Измельчение горных пород и полезного ископаемого способствует интенсификации процесса окисления, вследствие увеличения поверхности контакта с кислородом воздуха.

3. Процессы массообмена между воздухом и шахтной водой. При испарении температура воздуха уменьшается. Если испарение происходит за счёт более нагретой воды, температура воздуха увеличивается.

4. Охлаждение или нагрев горной массы при транспортировании рудничным воздухом.

5. Тепловыделение при работе машин и механизмов (разность между потребляемой и полезно использованной энергией в конечном итоге всегда переходит в тепло).

6. К прочим причинам, способствующим повышению температуры воздуха, относятся тепловыделение людей, охлаждение силовых кабелей, трубопроводов сжатого воздуха, горения светильников и т.д.

Особые климатические условия имеют место в шахтах и рудниках районов многолетней мерзлоты. Для поддержания устойчивости выработок рекомендуется в течении всего года поддерживать в выработках отрицательную температуру зимой от -3 до -10, летом от -3 до -6°С. При этих температурах и скорости движения воздуха имеет специальные ограничения, отличающиеся от общих норм Правил безопасности:

в забоях тупиковых выработок и очистных камерах  $v = 0,5(t+8)$  ;

в остальных  $v = 0,5(t+15)$ .

Самочувствие и производительность человек в значительной мере зависят от тепловых условий. Нарушение терморегуляции организма человека из-за повышения или понижения температуры воздуха приводит к переохлаждению или перегреву тела и, как следствие, к ухудшению самочувствия, снижению работоспособности человека, повышению травматизма.

Образующееся в организме в результате биохимических реакций, интенсивность которых зависит от физической нагрузки, тепло передаётся окружающей среде за счёт теплопроводности (конвенции), излучения (тепловая радиация), испарения пота и выдыхаемым воздухом.

Интенсивность теплообмена между человеком и окружающей средой зависит от климатических параметров (микроклимата) рабочего места: температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Относительная влажность воздуха определяется с помощью волосяного психрометра или психрометра Ассмана, скорость воздуха с помощью крыльчатого или чашечного анемометра.

Оценку совокупного воздействия температуры, влажности и скорости движения воздуха производят по показаниям кататермометра в катаградусах. Метод основан на измерении времени остывания резервуара прибора со спиртом от 38 до 35°С. Измеренное время (сек.) переводится в катаградусы по формуле:

$H = F/t$ ; где  $F$  - постоянная (константа) прибора, определяемая опытным путём;  $t$  – время охлаждения резервуара.

Таблица 3

Классификация условий труда по нормам комфортности

Выполняемая работа	Норма комфорта, катаградусы	
	$H_c$ (сухой кататермометр)	$H_m$ (мокрый кататермометр)
Лёгкая	6	18
Средней тяжести	8	28
Тяжёлая	10	30

По Правилам безопасности температура воздуха в очистных, подготовительных и других действующих выработках не должна превышать 26°C при относительной влажности до 90%, при более высокой влажности – 25°C (табл.4).

Таблица 4

Допустимая температура (°C) при относительной влажности, %

Минимальная скорость движения воздуха, м/с	Допустимая температура (°C) при относительной влажности, %		
	60 -75	76 - 90	Свыше 90
0,25	24	23	22
0,50	25	24	23
1,00	26	25	24
2,00	26	26	25

При температуре воздуха ниже 16°C скорость движения воздуха не должна превышать 0,75 м/с, если этой скорости достаточно для предотвращения загазования выработок.

## 5. ПОНЯТИЕ О АЭРОСТАТИКЕ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ И АРХИМЕДА

*Аэростатика* – наука о равновесии газов (воздуха). Она исследует условия, при которых воздух находится в неподвижном состоянии – состоянии равновесия. Одной из основных задач аэростатики является определение изменения давления покоящегося воздуха с высотой, а также условия равновесия находящихся в воздухе тел. Давление, создаваемое весом вышележащих слоёв воздуха, называется *аэростатическим*.

Основное уравнение аэростатики, связывающее давление, высоту и плотность воздуха, в проекциях на координатные оси имеет общий вид

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (1)$$

где  $p_0$  – давление воздуха на поверхности;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$\rho$  – плотность воздуха;

$h$  – разность высотных отметок начала и конца выработки

Т.к. удельный вес воздуха  $\gamma = \rho g$ , то уравнение (2) имеет вид

$$dp = \gamma dz \quad (2)$$

После интегрирования в пределах от  $z = 0$  до  $h$ , при граничных условиях  $z = 0, p = p_0, T = T_0$  и  $\gamma = \gamma_0$ , получим следующие законы изменения давления с глубиной

при изохорическом процессе (удельный вес постоянный)

$$p = p_0 + \gamma_0 h \quad (3)$$

при изотермическом процессе (температура постоянна)

$$p = p_o \exp \frac{h}{RT_o} \quad (4)$$

при адиабатическом и политропном процессе

$$p = p_o \left(1 + \frac{\gamma_o h}{\lambda \rho_o}\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (5)$$

где  $k = 1,41$  - для адиабаты и  $k = n$  - для политропы.

По закону Паскаля давление в данной точке одинаково во всех направлениях, изменение давления вызывает такое же изменение в соседних точках. Изменение атмосферного давления воздуха на поверхности на некоторую величину вызывает изменение давления на ту же величину в шахте. Давление воздуха на поверхности пластины не зависит от его ориентации в пространстве. Поскольку давление оказываются на противоположные равные поверхности пластины, то равнодействующие сил равно 0 и аэростатическое давление не вызывает перемещение пластины. Давление на все стенки выработки, расположенные на одной высоте одинаковое.

По закону Архимеда на все тела в воздушной среде действует сила направленная вертикально вверх равная весу вытесненного им воздуха.

## **6. ВИДЫ ДАВЛЕНИЙ В ДВИЖУЩЕМСЯ ВОЗДУХЕ. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ АЭРОДИНАМИКИ. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ МАССЫ, ЭНЕРГИИ. ПОНЯТИЕ О ДЕПРЕССИИ**

Каждый объём воздуха находится под постоянным давлением веса столба вышерасположенных слоёв воздуха, вплоть до стратосферы. На уровне моря это постоянное давление равно 760 мм рт.ст. Это давление называется аэростатическим или *статическим давлением*.

Обладая массой, движущийся воздух при встрече с преградой оказывает на него давление, величина которого зависит от кинетической энергии. Это давление называется скоростным или *динамическим давлением*. На поверхности преграды давление воздуха равно сумме статического и динамического давлений, т.е. *полному давлению*.

$$p_n = p_{ст} + p_{дин} \quad (6)$$

Из размерности давления ( $\text{кгс/м}^2 = \text{кгс} \cdot \text{м/м}^3$ ) видно, что оно составляет энергию единицы объёма воздуха. Статическое давление является потенциальной энергией, которая при определённых условиях может переходить в работу. Динамическое давление равно кинетической энергии единицы объёма и зависит от скорости движения воздуха и его плотности

$$p_{дин} = \frac{\rho v^2}{2g} \quad (7)$$

Давление измеряется в мм рт. ст. (плотность ртути 13,2 кг/дм<sup>3</sup>), мм вод.ст. (плотность воды 1кг/дм<sup>3</sup>), кгс/м<sup>2</sup> (равно мм вод.ст.) и Па (Н/м<sup>2</sup> = 0,1 кгс/м<sup>2</sup>).

Если статическое давление действует на все поверхности пластины в равной степени, то динамическое давление действует на только на поверхность, обращённую к потоку воздуха, силой  $F = p_{дин}S$  ( $S$  – площадь поверхности пластины).

*Закон сохранения массы* - масса любого объёма воздуха остаётся постоянной в процессе его движения.

Для условий движения потока воздуха по горным выработкам из закона сохранения массы следует, что через любое сечение данной выработки в единицу времени проходит одна и та же масса воздуха независимо от его площади. При неизменной плотности

$$u_1 S_1 = u_2 S_2 \quad (8)$$

где  $u_1$  и  $u_2$  – скорости движения воздуха;  $S_1$  и  $S_2$  – площади сечения выработки.

Т.е. объёмный расход воздуха является величиной постоянной. Уравнение (4) не соблюдается при утечках воздуха в примыкающие выработки или при изменении температуры и плотности воздуха.

*Закон сохранения энергии* для случая движения воздуха формулируется следующим образом: изменение энергии произвольного объёма воздуха за некоторый промежуток времени при его движении равно сумме количества сообщённой ему тепловой энергии и работе внешних сил, приложенных к этому объёму в то же время

$$\Delta E_{вн} + \Delta E_n + \Delta E_k = I\Delta Q + \Delta A \quad (9)$$

где  $\Delta E_{вн}$  – изменение внутренней энергии данного объёма воздуха, определяемой кинетической энергией движения молекул и потенциальной энергией их взаимодействия (температурой, теплоёмкостью и давлением);  $\Delta E_n$  – изменение потенциальной энергии объёма воздуха (при изменении высоты расположения);  $\Delta E_k$  – изменение кинетической энергии объёма воздуха (при изменении скорости движения);  $I$  – механический эквивалент тепла;  $\Delta Q$  – количество тепла полученное или отданное данным объёмом воздуха;  $\Delta A$  – работа внешних сил.

Внешними силами при движении воздуха по выработкам являются силы сопротивления движению (силы трения) и силы статического давления на поверхности выработок, энергия, сообщаемая воздуху вентилятором, тепло от стенок выработок.

При адиабатическом движении воздуха  $\Delta E_{\text{эн}} = \Delta Q = 0$ , формула 9 приобретает вид

$$\gamma z + p + p_{\text{дин}} + A = 0, \quad (10)$$

Из выражения следует, что при уменьшении скорости потока и его динамического давления при прочих равных условиях возрастает статическое давление. Часть кинетической энергии движущегося воздуха (динамическое давление) переходит в потенциальную энергию (статическое давление). Это наблюдается при увеличении сечения выработки или вентиляционной трубы и соответствующем уменьшении скорости движения воздуха. В сужениях наблюдается обратная картина.

Закон сохранения энергии при движении воздуха по выработкам формулируется следующим образом: *при установившемся адиабатическом движении воздуха по выработкам энергия, поступающая в поток от внешних источников, полностью расходуется на преодоление сопротивлений на пути движения.*

Разность давлений в двух различных точках рудничного воздуха называется *депрессией*. Разность статических давлений называется *статической депрессией*, разность скоростных давлений – *скоростной депрессией* и разность полных давлений – *полной депрессией*.

Разность давлений на входе и выходе вентилятора называется *депрессией вентилятора* и является следствием работы вентилятора. Дополнительная разность давлений создаётся естественными факторами – разностью весов столбов воздуха в вертикальных выработках из-за разности плотности и высоты их называется *депрессией естественной тяги*. Естественная тяга может увеличивать или уменьшать энергию потока. Аналогичное влияние оказывает дующий в устье штольни ветер.

## **7. ЛАМИНАРНЫЙ И ТУРБУЛЕНТНЫЙ РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА. ЧИСЛО РЕЙНОЛЬДСА. ХАРАКТЕРИСТИКА ТУРБУЛЕНТНЫХ СВОБОДНЫХ СТРУЙ**

При малых скоростях движения воздуха в каналах происходит спокойно с параллельными траекториями частиц без обмена объёмами между слоями потока. Такой режим движения называется *ламинарным*. При увеличении скорости движение воздуха характеризуется беспорядочным изменением параметров течения во времени и пространстве и беспорядочным перемешиванием слоёв потока. Такой режим движения называется *турбулентным*.

При ламинарном движении средняя скорость потока в данной точке не изменяется во времени, т.е. движение является *стационарным*. При турбулентном движении скорость движения в данной точке меняется во времени по направлению, поток становится пульсирующим. В ламинарном потоке между слоями происходит обмен только молекулами, в турбулентном происходит интенсивный обмен объёмами. Пульсация скорости вызывает пульсацию содержания газовых примесей, пыли, тепла и пр.

Режим движения воздуха характеризуется числом Рейнольдса

$$Re = \frac{uD}{\nu} \quad (11)$$

где  $u$  – средняя скорость движения воздуха в выработке;  $D$  – гидравлический диаметр сечения выработки;  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха равная  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Гидравлический диаметр определяется по формуле

$$D = \frac{uS}{P}, \text{ м}; \quad (12)$$

где  $S$  – площадь сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;

$P$  – периметр выработки, м.

В гладких трубах при  $Re \geq 2300$  небольшое возмущение потока вызывает переход ламинарного движения в турбулентное и остаётся турбулентным даже при устранении возмущения. Число 2300 является критической величиной. При  $Re < 2300$  движение устойчиво ламинарное.

В шахтных выработках критическое значение числа  $Re = 1000 \div 1500$ , поэтому минимальная скорость, при которой движение остаётся турбулентной, например при  $D = 2,5$  м, будет равна  $0,006 - 0,01$  м/с. По правилам безопасности скорость движения воздуха в выработках должна быть более  $0,25$  м/с, поэтому вентиляционная струя всегда турбулентная.

Переход ламинарного движения в турбулентное в отдельной точке происходит почти мгновенно, однако в пространстве между источником возмущения и сечением потока, где движение полностью турбулентное, лежит переходная область, частично заполненная турбулентными вихрями. В очень шероховатых воздухопроводах таких, как большинство горных выработок, турбулентность зарождается у выступов стен выработки.

При промежуточном режиме вдоль потока существуют области с турбулентным и ламинарным режимом. При вполне развитом турбулентном движении у стенок воздухопровода сохраняется слой с ламинарным движением. Такой слой называется *ламинарным пограничным слоем*. При малых числах Рейнольдса пограничный слой покрывает выступы шероховатости. При этом оно оказывают минимальное сопротивление

потоку. С увеличением числа Рейнольдса толщина ламинарного слоя уменьшается, выступы шероховатости внедряются в турбулентный поток и сопротивление движению воздуха возрастает.

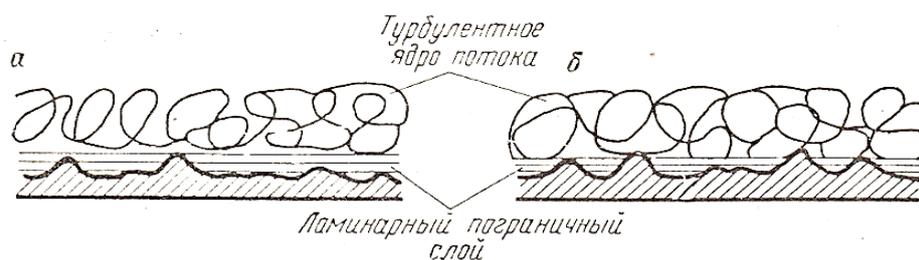


Рис. 1. Ламинарный пограничный слой: а – при малом числе  $Re$ ; при большом числе  $Re$ .

Движение воздуха в ламинарном и турбулентном режиме различаются распределением потока по сечению воздухопровода по скорости, т.е. эпюрами скоростей. При ламинарном режиме эпюра вытянута в виде параболы, при турбулентном эпюра притуплена.

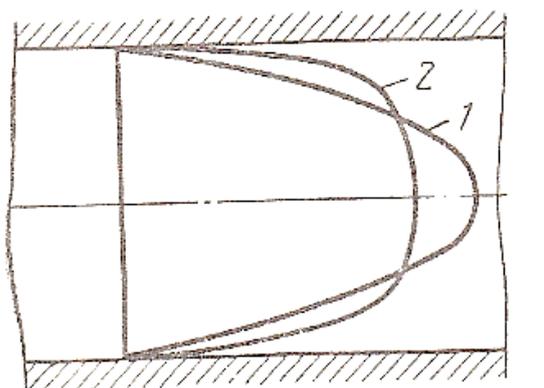


Рис. 2. Профили скоростей при ламинарном (1) и турбулентном (2) режимах движения и изолинии скоростей.

Воздушные потоки в выработках делятся на два основных типа: *ограниченные потоки*, или потоки с твёрдыми границами, и *свободные*, не имеющие твёрдых границ, называемые также *свободными струями*.

Ограниченными потоками являются потоки воздуха в прямолинейных участках выработках постоянного сечения, где поток воздуха ограничен стенками выработки.

Свободные струи образуются при выходе воздушного потока в неограниченное или достаточно большое пространство. Воздушная струя распространяется в этом пространстве, не имея твёрдых границ. Примерами свободных струй являются потоки воздуха, выходящие из штрека в камеру большого сечения, из трубопровода в выработку. Поперечное сечение свободных струй может быть *круглым* и *плоским*. Если свободная струя

соприкасается с твёрдой поверхностью и не получает полного развития, она называется *неполной*.

Ограниченные потоки и свободные струи движутся по существенно различным законам. В ограниченных потоках происходит падение давления в направлении движения, в свободных струях давление постоянно и равно давлению окружающего воздуха. В поперечном сечении этих потоков профили (эпюры) скоростей различны. Диффузные процессы в них также различны. В связи с этим различна организация вентиляции выработок со свободными струями воздуха и выработок с ограниченными потоками.

Основные особенности движения воздуха в турбулентных свободных струях те же, что и в ограниченных потоках. Однако отсутствие твёрдых границ определяет ряд особенностей.

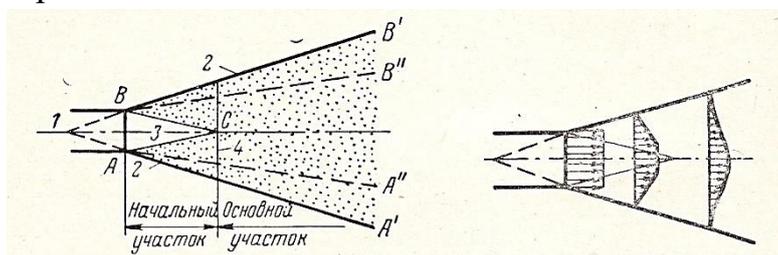


Рис. 3. Схема свободной турбулентной струи, вытекающей из отверстия конечного диаметра и эпюра скоростей в свободной турбулентной струе.

Точка начала свободной струи 1 носит название *полюса струи* и определяется как точка пересечения продолжения внешних границ струи 2.

При выходе струи из *начального сечения* АВ на его кромке происходит срыв струй и образовывается расширяющийся турбулентный пограничный слой А'АСВВ'. Между его внутренними границами АС и ВС находится *ядро постоянных скоростей* 3, в пределах которого продольные скорости остаются постоянными и равными скорости в начальном сечении.

В свободной струе продольные скорости максимальны на её оси и убывают до 0 на внешней границе. Абсолютные скорости уменьшаются также по мере удаления от начального сечения. При этом во всех точках потока равно давлению воздуха вне его.

Центральное ядро струи (В"ВАА"), через каждое поперечное сечение которого в единицу времени проходит одно и то же количество воздуха, равное таковому в начальном сечении, называется *ядром постоянной массы*.

Между ядром постоянной массы и внешними границами струи (В"ВВ' и А"АА') находятся присоединённые массы, которые увлекаются ядром постоянной массы и движутся в том же направлении, составляя неотъемлемую часть свободной струи. Объём присоединённых масс увеличивается в направлении движения. В объёме присоединённых масс происходит массообмен(перемешивание) вентиляционной струи и

загрязнённого окружающего воздуха за счёт поперечных пульсационных составляющих скорости. Сечение 4, проходящее через точку С, называется переходным.

Дальнобойность свободной струи, по В.Н. Воронину, равна

$$l = 0,5\sqrt{S}\left(1 + \frac{1}{2a}\right) = 0,5b\left(1 + \frac{1}{2a}\right) \quad (13)$$

Где S – площадь поперечного сечения выработки; а – коэффициент структуры струи ( $a = 0,06 \div 0,08$ ); b – максимальное расстояние от стенки выработки, подающей воздух до боковой стенки камеры.

Расход воздуха в произвольном сечении круглой струи на расстоянии x от выходного отверстия радиусом  $R_o$ , равен

$$Q = 2,18Q_o\left(\frac{ax}{R_o} + 0,29\right) \quad (14)$$

Где  $Q_o$  – расход воздуха в начальном сечении струи.

Наибольшая интенсивность турбулентных пульсаций наблюдается на расстоянии 0,2 – 0,5 радиуса струи. Интенсивность турбулентности возрастает вдоль струи, а частота пульсаций уменьшается. Наибольшие вихри наблюдаются в приосевой части. Характерным является постоянство пути перемешивания и пропорциональность его расстояния от полюса струи. Закручивание струи значительно увеличивает путь перемешивания и её перемешивающую способность.

## **8. ЗАКОН СОПРОТИВЛЕНИЙ. АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК. ВИДЫ СОПРОТИВЛЕНИЙ: МЕСТНЫЕ, ЛОБОВЫЕ И ИХ РАСЧЁТ. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА СОПРОТИВЛЕНИЯ СТВОЛОВ. ЕДИНИЦЫ СОПРОТИВЛЕНИЙ, ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ОТВЕРСТИЕ РУДНИКА И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ**

Закон сопротивления в рудничной вентиляции — это зависимость между депрессией  $h$  и средней скоростью движения (или количеством  $Q$ ) воздуха в выработке.

Эта зависимость имеет параболический характер

$$h = R_1 u^n = R_2 Q^n \quad (15)$$

Где  $R_1$  и  $R_2$  – коэффициенты пропорциональности;  $n$  – показатель степени, зависящий от режима движения: при турбулентном режиме  $n = 2$ , при ламинарном  $n = 1$ . (Формула 10.1 подобно закону Ома: депрессия  $h$  кгс/м<sup>2</sup> подобно напряжению  $U$  в,  $Q^2$  м<sup>6</sup>, подобно току  $I$  а,  $R$  кμ – сопротивлению  $R$  Ом).

Из (15) киломюрг равен  $1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$

При малых скоростях турбулентного движения воздуха в горных выработках  $Re = 2 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^4$  или  $\approx 1,8$ , что объясняется увеличением ламинарного пограничного слоя между крепью и боковыми породами. При расчётах принимают  $n = 2$ , что вносит некоторый запас депрессии.

В воздухе существуют силы межмолекулярного сцепления, определяющие его вязкость и обуславливающие появление касательных напряжений в потоке. Кроме того, в нём существуют нормальные напряжения, т.е. давление. Прилипание воздуха к стенкам воздухопровода вызывает торможение прилегающих слоёв движущегося воздуха и появление касательных напряжений между слоями, находящимися в относительном движении, препятствующие этому движению - *силы трения*.

Энергия, затраченная на преодоление сил трения, т.е. *аэродинамического сопротивления*, в виде сил давления, переходит в тепло и рассеивается.

Движущийся вдоль стенок выработок воздух оказывает давление на выступы шероховатости, составляющая силы сопротивления дополнительно к силам трения. Результирующая их условно называется силой трения.

*Аэродинамическое сопротивление трения* сопротивление движению воздуха в прямолинейной выработке постоянного сечения равно

$$R = \alpha \frac{PL}{S^3}, \text{ кгс} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8; \quad (16)$$

где  $\alpha$  – *коэффициент сопротивления трения* (коэффициент трения),  $P$  – периметр сечения выработки, м;  $L$  – длина выработки, м;  $S$  – площадь сечения выработки,  $\text{м}^2$ .

Коэффициент сопротивления трения  $\alpha$  в общем случае зависит от числа  $Re$  и шероховатости стенок выработки или воздухопровода.

Для круглых воздухопроводов диаметром  $D$  депрессия равна

$$h = 6,48\alpha \frac{LQ^2}{D^5} \quad (17)$$

Коэффициент сопротивления трения  $\alpha$  в общем случае зависит от числа  $Re$  и шероховатости стенок выработки или воздухопровода.

Вентиляционные скважины большого диаметра имеют  $\alpha = (2 \div 8) \cdot 10^{-4}$ , незакреплённые выработки  $\alpha = (5 \div 20) \cdot 10^{-4}$ , вентиляционные скважины  $\alpha = (2 \div 8) \cdot 10^{-4}$ , выработки с бетонным и кирпичным креплением  $\alpha = (3 \div 7) \cdot 10^{-4}$ , с креплением неполными крепёжными рамами из круглого леса  $\alpha = (9 \div 23) \cdot 10^{-4}$ , металлическими арками и сборной железобетонной крепью  $(5 \div 23) \cdot 10^{-4}$ ,

тубингами  $(7 \div 13) \cdot 10^{-4}$ . Конвейеры в выработке увеличивают значение  $\alpha$  в 2-2,5 раза.

Торкретирование незакреплённых стенок, покрытие рифленным железом, применение пластмассы снижает  $\alpha$  в 2-4 раза; штукатурка бетонной и кирпичной крепи в 2 раза. С увеличением сечения выработки величина  $\alpha$  снижается вследствие уменьшения относительной шероховатости.

Местные сопротивления вызываются резкими (местными) изменениями формы внешних границ потока. К ним относятся внезапные расширения и сужения, повороты, разветвления, повороты, вентиляционные окна, каналы вентиляторов и т.п. Для местных сопротивлений характерным является срыв струй с твёрдых границ и образование свободных струй. В результате между стенками и границей свободных струй образуются *застойные* (или *мёртвые*) зоны с присоединёнными массами, находящимися во вращательном движении. Энергия вращательного движения в конечном счёте рассеивается в виде тепла. Вследствие турбулентного обмена в застойные зоны из основного потока поступает воздух с высокой энергией, а из застойных зон – объёмы воздуха с малой энергией.

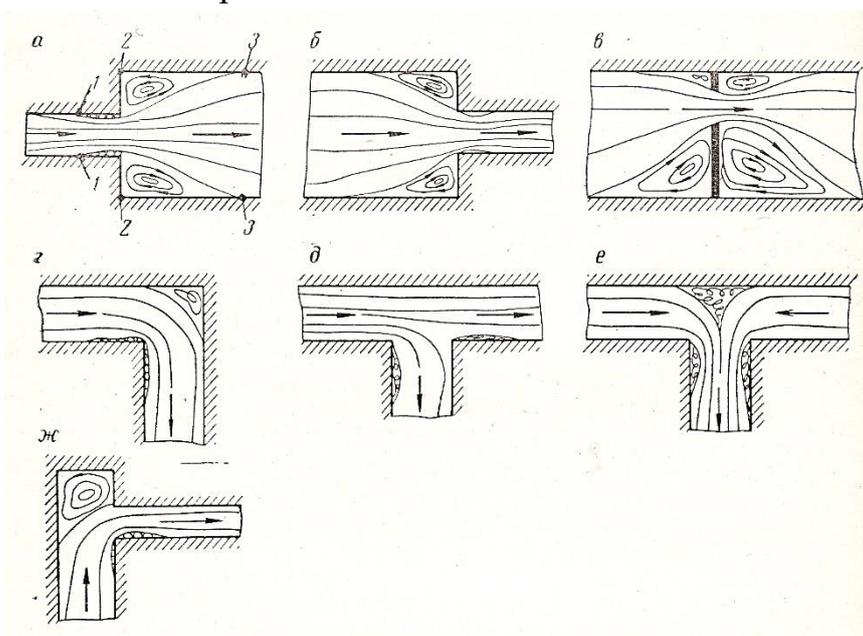


Рис. 4. Местные сопротивления в горных выработках

Расчёт местных сопротивлений основан на факте, что депрессия местного сопротивления выражается как часть скоростной энергии потока

$$h = \xi \frac{\rho u^2}{2g} \quad (18)$$

Безразмерный коэффициент  $\xi$  носит название *коэффициента местного сопротивления*.

Выражая скорость движения воздуха  $u$  через расход  $Q$ . Получим

$$h = \xi \frac{\rho Q^2}{2gS^2} \quad (19)$$

Величина коэффициента местного сопротивления определяется экспериментально замером давления, скорости и плотности воздуха до и после местного сопротивления.

На величину  $\xi$  влияют формы и размеры выработок и элементов твёрдых границ потока. Например, при внезапном расширении или сужении площадей поперечного сечения  $\xi$  тем больше, чем больше отношение этих площадей. Коэффициент  $\xi$  уменьшается, если переход от одного сечения к другому осуществляется более плавно; с увеличением угла поворота потока  $\xi$  увеличивается; при скруглении углов – уменьшается. Увеличение шероховатости (выступов) стенок увеличивает  $\xi$ .

При внезапных расширениях коэффициент  $\xi$  изменяется от 0 до 1 при изменении соотношения площадей поперечных сечений узкой  $S_1$  и широкой  $S_2$  гладких выработок от 1 до 0. В случаях внезапных сужений при  $S_2/S_1$  переходах  $\xi$  изменяется от 0 до 0,45. Наименьшие потери при расширении выработки соответствуют углу раскрытия струи  $5-8^\circ$ , а при сужении не более  $5^\circ$ .

Коэффициент местного сопротивления при повороте гладкой выработки определяется по формуле  $\xi = 0,67\delta^2$ , где  $\delta$  – угол поворота в радианах.

Неподвижные тела, пересекающие поток, создают *лобовое сопротивление*, зависящее от их формы и площади миделевого сечения. Лобовое сопротивление тела выражается через скоростное давление потока

$$h = c \frac{\rho u^2 S}{2g} \quad (20)$$

Где  $c$  – безразмерный коэффициент лобового сопротивления, учитывающий форму тела;  $S$  – площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную к направлению движения воздуха (миделевое сечение).

Сопротивление шахтных стволов складывается из сопротивления трения воздуха о его стенки и лобовых сопротивлений элементов армировки, преграждающих воздушный поток. Удельный вес депрессии, создаваемой стволами, в общешахтной депрессии значителен. В глубоких шахтах он может достигать 50%.

Расчёт депрессии и сопротивления стволов производится по формулам в которых  $\alpha$  определяется с учётом как трения о стенки, так и лобового сопротивления загромождающих тел. Основное сопротивление движению

воздуха в стволах оказывают элементы армировки, трубопроводы, лестничные отделения. Поэтому величина  $\alpha$  зависит в основном от размеров и профилей поперечного сечения элементов армировки (степени обтекаемости), их взаимного расположения в сечении ствола и по его длине. Влияние шероховатости стенок невелико. Наличие лестничного отделения увеличивает сопротивление ствола на 25 – 30%. В зависимости от схемы армировки  $\alpha$  находится в пределах  $20 \cdot 10^{-4}$  -  $65 \cdot 10^{-4}$ . Неармированные стволы, закреплённые бетоном  $(1,5 \div 4) \cdot 10^{-4}$ , закреплённые тубингами –  $(7 \div 13) \cdot 10^{-4}$ .

Способ расчёта сопротивления стволов как сумм частных потерь на обтекание каждого расстрела весьма громоздок. Рекомендуется определять коэффициент трения бетонных стволов по эмпирической формуле П.И.Мустеля

$$\alpha = k \frac{\sum S_m}{\sqrt{lD^3}} - \frac{S^3}{(S - S_l)^3} \quad (21)$$

Где  $k$  – коэффициент, равный 0,033 для расстрелов прямоугольной формы, 0,04 для двутавровых расстрелов;  $\sum S_m$  – сумма миделевых сечений всех расстрелов,  $l$  – расстояние между расстрелами по оси ствола;  $D$  – диаметр ствола;  $S$  – площадь поперечного сечения ствола;  $S_l$  – площадь лестничного отделения.

Шахтную вентиляционную сеть, его депрессию характеризует эквивалентное отверстие  $A$ , под которым понимается круглое отверстие в тонкой стенке оказывающее сопротивление движению воздуха, равное сопротивлению шахтной сети.

$$A = \frac{Q}{\varphi \sqrt{\frac{2gh}{\rho}}} = \frac{Q}{\varphi \sqrt{R}}, \text{ м}^2 \quad (22)$$

где  $\varphi = \frac{A'}{A}$  – отношение площади сечения наиболее узкой части струи к площади отверстия;  $h = p_1 - p_2$  – депрессия отверстия.

Если принять  $\varphi = 0,65$ ,  $\gamma = 1,2 \text{ кгс/м}^3$ ,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ , то  $A = \frac{0,38Q}{\sqrt{h}} = \frac{0,38}{\sqrt{R}}$

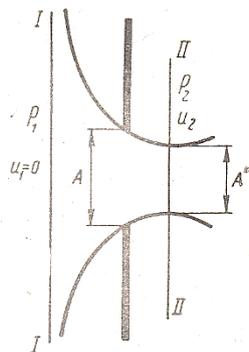


Рис.5 Схема эквивалентного отверстия

Считается, что шахта легко проветривается, если  $A > 2 \text{ м}^2$ , при  $1 \text{ м}^2 \leq A \leq 2 \text{ м}^2$  шахта средней трудности проветривания; при  $A < 1 \text{ м}^2$  – труднопроветриваемой.

Величина  $K = \frac{Q}{\sqrt{h}} = \frac{1}{\sqrt{R}}$  называется пропускной способностью шахты и определяет количество воздуха, которое проходит через шахту при  $h = 1 \text{ кгс/м}^2$ .

График соотношения  $h = RQ^2$  называется *характеристикой шахты*.

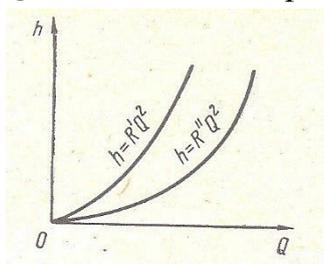


Рис.6. Характеристика вентиляционной системы шахты.

## 9.ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СЕТИ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СЕТИ ВЫРАБОТОК. ПРЕИМУЩЕСТВА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ. ДИАГОНАЛЬНАЯ СХЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ.ОБЩАЯ ДЕПРЕССИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЕ СЕТИ

Совокупность соединённых между собой горных выработок, по которым движется воздух, называется *вентиляционной сетью*. Вентиляционные сети шахт изображаются в виде планов и схем. *Вентиляционным планом* называется вычерченный в масштабе план горных выработок с указаниями стрелками направления движения воздуха. Вентиляционный план является источником данных для расчёта вентиляции и по нему контролируется проветривание шахты. *Вентиляционная схема* — это немасштабное изображение вентиляционной сети. Кроме направления движения воздуха на схемах указываются штриховыми линиями пути утечек.

Места соединения трёх и более выработок называются *узлами сети*. Выработка или цепь последовательно соединённых выработок, соединяющие два узла называется *ветвью*.

Часть схемы, ограниченная со всех сторон ветвями, называется *элементарным контуром*, или *ячейкой* (6-7-8-8-7-6)рис.7.

Для любой замкнутой вентиляционной сети справедливо соотношение

$$L = M + N - 1, \quad (23)$$

где L– число ветвей; M- число ячеек; N- число узлов в сети.

Различают три вида соединений выработок: *последовательное, параллельное и диагональное.*

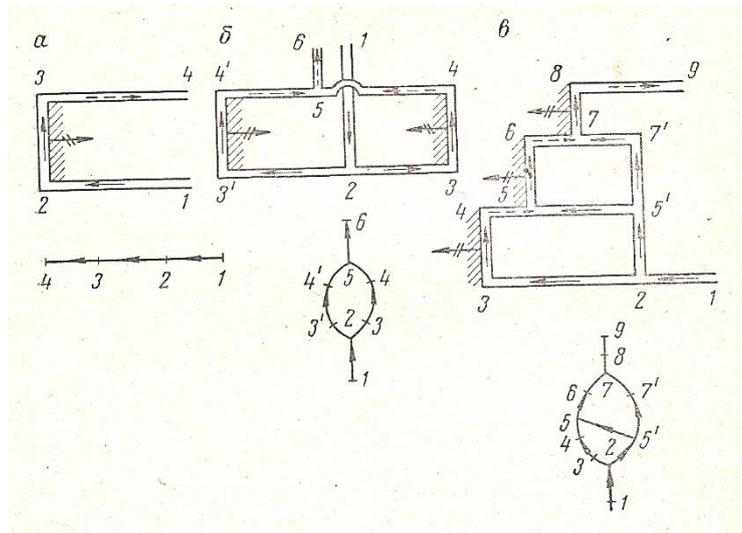


Рис.7. Вентиляционные планы и схемы:

В последовательно соединённых выработках, не имеющих разветвлений, в соответствии с законом сохранения масс при неизменной плотности расход воздуха постоянен:  $Q = const$ .

Общая депрессия и общее сопротивление последовательно соединённых выработок равна их суммам: общее сопротивление сети:

$$R_{\text{посл}} = \sum_{i=1}^n R_i \quad (24); \text{ общая депрессия:}$$

$$h_{\text{посл}} = \sum_{i=1}^n h_i \quad (25)$$

или

$$h_{\text{посл}} = R_{\text{посл}} Q^2 \quad (26)$$

При параллельном соединении выработки в одном месте разветвляются, а в другом соединяются и между этими узлами не сообщаются друг с другом. Преимущество параллельного соединения в том, что во все очистные забои поступает свежий воздух. При последовательном соединении воздух в дальние забои поступает загрязнённым в предыдущих забоях.

По закону сохранения масс при постоянстве плотности сумма подходящего к узлу и отходящего от узла расходов воздуха равны.

Общий расход воздуха параллельной вентиляционной сети

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \quad (27)$$

Депрессии параллельных ветвей равны, поэтому общая депрессия параллельного соединения равно депрессии одной любой ветви.

$$h_{\text{пар}} = R_{\text{пар}} Q^2 = h_1 = R_1 Q_1^2 = h_2 = R_2 Q_2^2 = \dots h_n = R_n Q_n^2 \quad (28)$$

$$\frac{Q_1}{Q} = \sqrt{\frac{R_{нар}}{R_1}}, \quad \frac{Q_2}{Q} = \sqrt{\frac{R_{нар}}{R_2}} \quad \text{и} \quad \frac{Q_n}{Q} = \sqrt{\frac{R_{нар}}{R_n}} \quad (29)$$

$$\frac{1}{\sqrt{R_{нар}}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \quad (30)$$

Если сопротивления ветвей равны  $R$ , то общее сопротивление параллельного соединения из двух ветвей  $R_{нар} = \frac{R}{4}$ , из трёх ветвей  $R_{нар} = \frac{R}{9}$ , из четырёх  $R_{нар} = \frac{R}{16}$  и т.д.

В *открытом параллельном соединении* две или несколько параллельных ветвей сообщаются с атмосферой. В этих точках статическое давление на выходе равно атмосферному.

В *диагональном соединении* параллельные ветви соединены ещё одной или несколькими выработками.

Общая депрессия схемы рис. 7 равна разности в точках 1 и 4. Депрессия по любому пути движения воздуха одна и та же

$$h_{диаг} = h_{1-2-4} = h_{1-3-4} = h_{1-2-3-4} = h_{1-3-2-4}$$

или

$$h_{диаг} = h_{1-2} + h_{2-4} = h_{1-3} + h_{3-4} = h_{1-2} - h_{2-3} + h_{3-4} = h_{1-3} + h_{3-2} + h_{2-4}$$

Общее сопротивление простого диагонального соединения  $R_{диаг} = \frac{h_{диаг}}{Q_o^2}$ .

Направление движения воздуха в диагонали зависит от соотношения сопротивлений параллельных ветвей и не зависит от сопротивления диагонали.

## **10. ЕСТЕСТВЕННАЯ ТЯГА. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЕЛИЧИНУ ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ. МЕТОДЫ ЗАМЕРА И РАСЧЁТЫ**

Естественной тягой называется движение воздуха по выработкам под влиянием естественных причин: разности удельных весов воздуха, действия ветра, капежа. Разность давлений при естественной тяге называется депрессией естественной тяги.

До появления вентиляторов естественная тяга была единственным средством проветривания шахт. Правилами безопасности запрещается проветривание шахт исключительно за счёт естественной тяги из-за её неустойчивости по количеству и направления движения воздуха. В зависимости от горнотехнических условий и времени года депрессия естественной тяги может достигать 20-25% депрессии главного вентилятора.

Факторы, определяющие естественную тягу.

Температура воздуха в горных выработках является одним из основных факторов, определяющих удельный вес рудничного воздуха. При этом основную роль играют процессы теплообмена с горными породами. Меньшее влияние оказывают тепловыделение при окислительных процессах, изменение температуры воздуха за счёт сжатия по мере опускания в ствол.

Существенное влияние на естественную тягу оказывает температура воздуха на поверхности. Летом удельный вес воздуха в подающем стволе уменьшается, зимой увеличивается. В стволе с исходящей струёй удельный вес воздуха в течение года сравнительно постоянный.

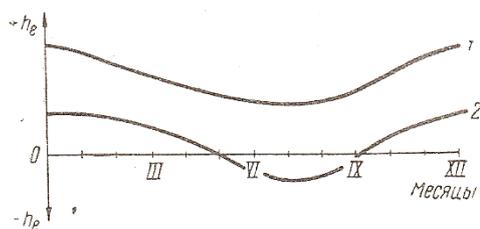


Рис.8 Сезонное изменение депрессии естественной тяги в шахте

Аналогичные изменения могут происходить в течение суток. Влияние их в гористой местности усиливается из-за перепада высот устьев выработок.

При подземных пожарах температура воздуха может достичь сотен градусов и возникает весьма мощная депрессия способная опрокинуть вентиляционную струю.

Естественная тяга может затруднять работу вентилятора или помогать ему.

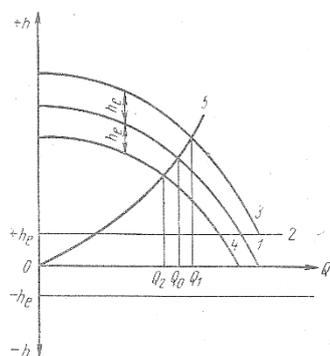


Рис. 9. Изменение характеристики естественной тяги от величины естественной тяги

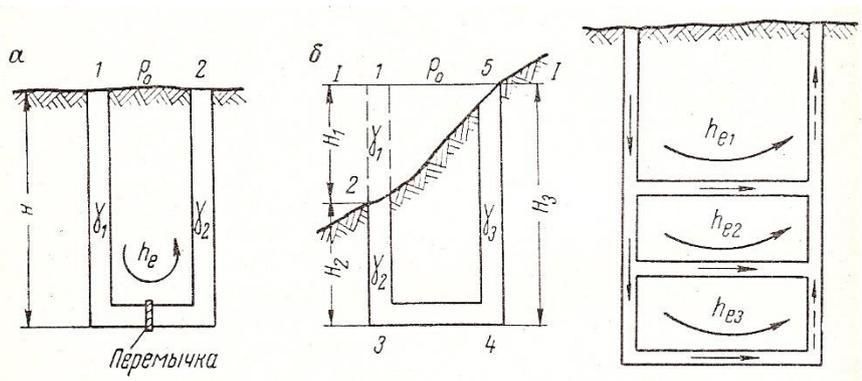


Рис. 10 Схема действия естественной тяги в шахте

Разность давлений столбов воздуха в вертикальных выработках (депрессия естественной тяги) определяется глубиной шахты и разностью удельных весов воздуха в этих выработках

для схемы а) разность давлений на перемычку 
$$h_e = (\gamma_1 - \gamma_2)H$$

для схемы б) депрессия естественной тяги 
$$h_e = \gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2 - \gamma_3 H_3$$

Когда вертикальные или наклонные выработки соединены на разных горизонтах горизонтальными выработками (схема в), на каждом горизонте действует своя депрессия естественной тяги.

Особенность проявления естественной тяги то, что давление в выработках не аккумулируется в потоке, а сразу расходуется на преодоление сопротивления движению воздуха, поэтому давление на всём протяжении потока постоянно и равно атмосферному.

Существует несколько способов замера депрессии естественной тяги – одни с использованием перемычки и другие без перемычки.

При наличии перемычки к обеим его сторонам подключают депрессиомер и он покажет депрессию естественной тяги. При этом местоположение перемычки безразлично. Измерение должно производиться быстро, чтобы удельный вес воздуха в стволах не успел измениться.

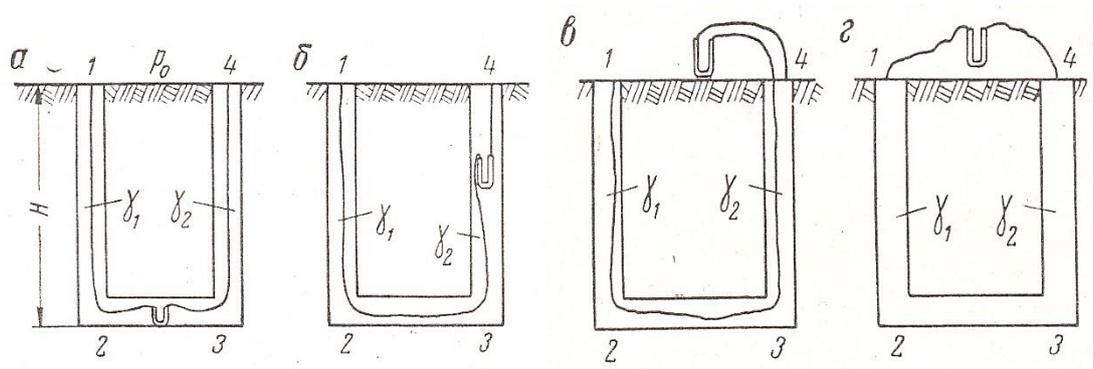


Рис.11. Замер депрессии естественной тяги через перемычку – а, б, и без перемычки – в, г.

Измерение депрессии естественной тяги без перемычки производят депрессиомером с трубами протянутыми по выработкам к устьям стволов. В

этом случае удельный вес воздуха в стволах и расположенных в них трубах одинаков. Местоположение депрессиометра в выработках не имеет значение.

При замере по схеме 2 показание прибора будет равно 0.

При замере давления барометром в точках 1 и 3 результат является суммой атмосферного давления, давления веса столба воздуха в стволе и динамического давления

$$p_2 = p_o + \gamma_1 H - R_1 Q^2; \quad p_3 = p_o + \gamma_2 H - R_2 Q^2 \quad (31)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  - сопротивление стволов

Разность показаний барометров

$$h_o = (\gamma_1 - \gamma_2) H - (R_1 + R_2) Q^2 = h_e - h_c \quad (32)$$

где  $h_c$  - сумма депрессий стволов.

Депрессия стволов при подаче большого количества воздуха могут достигать в глубоких шахтах 100 кгс/м<sup>2</sup> и более, поэтому ошибка в измерении будет велика ( $h_e = h_o + h_c$ ).

## 11. СПОСОБЫ И СХЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Существует три способа обеспечения необходимой депрессии для проветривания шахт в зависимости от вида создаваемой вентилятором депрессии: избыточное давление или разрежение.

Нагнетательный способ вентиляции. Перепад давлений (депрессия) в шахте создаётся повышением давления воздуха вентилятором у устья воздухоподающего ствола. Вентилятор и ствол обычно располагаются в центре шахтного поля.

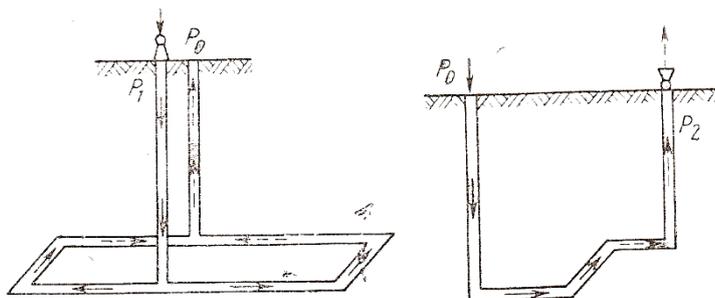


Рис. 12. Нагнетательный и всасывающий способ проветривания шахт.

Достоинства нагнетательного способа – применение одной вентиляторной установки при многочисленных разветвлениях вентиляционной сети; большая устойчивость работы главного вентилятора; лёгкость регулирования распределения расхода воздуха в сети и управления аварийными режимами. Наличие только одного вентилятора позволяет регулярно следить за его работой и обеспечивать бесперебойную подачу энергии к ней. Вентилятор омывается чистым воздухом, что обеспечивает большую безопасность и длительный срок её службы. Отсутствие подсосов с

поверхности через обрушенные породы исключает поступление вредных примесей в рудничный воздух. Большое число воздухоотводящих выработок, оборудованных как запасные выходы повышает безопасность горных работ и облегчает ликвидацию аварий.

К недостаткам относятся – необходимость устройства герметичного надшахтного здания и воздухоподающего клетьевого ствола; необходимость установки главного вентилятора большой мощности с большим диапазоном регулирования расхода и депрессии. В газовых шахтах при аварийной остановке возрастает приток метана из-за падения давления в выработках.

Всасывающий способ вентиляции. Депрессия шахты создаётся за счёт разряжения, создаваемой вентилятором, установленному в устья воздухоподающего ствола. Движение воздуха по воздухоподающему стволу происходит под действием атмосферного давления. При этом способе давление воздуха в шахте ниже барометрического и в случае остановки вентилятора давление повышается и в газовых шахтах выделение метана уменьшается.

При всасывающем способе может быть применена одна центральная вентиляторная установка или несколько на флангах. При одной центральной вентиляторной установке работа его также устойчива, легче осуществляется регулирование распределения воздуха и реверсирование струи. Поскольку через вентилятор проходит загрязнённый воздух необходимо систематически производить осмотр и очистку каналов вентилятора от рудничной пыли, контролировать содержание метана в исходящей струе, т.к. вероятность взрыва метана в вент. установке возрастает.

При использовании нескольких вент. установок на различных стволах шахты повышается эффективность проветривания выемочных участков на флангах шахтного поля. При этом могут использоваться менее мощные вентиляторы. В то же время усложняется расчёт сети, сложнее регулирование воздушных потоков, некоторые вентиляторы работают в неэкономичном режиме, снижается устойчивость вентиляционных потоков.

Общий недостаток способа – подсосы воздуха с поверхности через зоны обрушения, провалы, трещины. Это приводит к загрязнению воздуха в очистных забоях, снижению эффективности вентиляции, а на пластах угля, склонного к самовозгоранию, может явиться причиной возникновения пожара. Поэтому способ применяют на месторождениях, не склонных к самовозгоранию, на глубине более 150 – 200 м и при с поверхностью через обрушения, трещины и провалы.

Комбинированный (нагнетательно-всасывающий) способ проветривания предусматривает установку нагнетающего вентилятора в воздухоподающем стволе и всасывающего в воздуховыдающем стволе. Депрессия создаваемая двумя вентиляторами равна сумме величин превышения давления над атмосферным, создаваемой нагнетающего вентилятора и величины уменьшения давления относительно атмосферного, создаваемого всасывающим вентилятором. Способ позволяет распределить общешахтную депрессию на два последовательно работающих вентилятора.

В выработках создаётся область, в которой давление равно атмосферной. При существовании в этой области каналов до поверхности в них движение воздуха отсутствует. Поэтому этот способ уменьшает утечки и подсосы через выработанное пространство и трещины, повышая безопасность при разработке самовозгорающих руд и угля.

Недостатками нагнетательно-всасывающего способа являются сложность обслуживания двух и более вентиляторов, трудность управление проветриванием при наличии нескольких всасывающих вентиляторов.

Схемы вентиляции определяются размещением вентиляционных стволов относительно разрабатываемого месторождения или шахтного поля.

Выбор схемы должен обеспечивать максимальное использование для проветривания все действующие выработки, уменьшение аэродинамического сопротивления шахты разделением воздушных потоков по максимально возможному числу параллельных ветвей, проветривание рабочих мест свежей вентиляционной струёй. Количество вентиляционных сооружений для управления струёй: двери, шлюзы, кроссинги, перемычки, вентиляционные окна, должно быть минимальным. По Правилам безопасности подача воздуха в шахту по скиповым стволам и выработкам, оборудованным конвейерами на шахтах опасных по газу и пыли запрещено, скорость движения воздуха должно быть в пределах максимально и минимально допустимых.

Существуют три схемы вентиляции: центральная, фланговая и комбинированная.

При центральной схеме вентиляции воздухоподающий и воздуховыдающий стволы располагаются в центре шахтного поля. При глубине разработки более 200 м. применяется центрально сдвоенная схема, расстояния между стволами 30 – 100м. При меньшей глубине или отработке верхней части месторождения применяется центрально-отнесённая схема, когда стволы располагаются на значительном расстоянии.

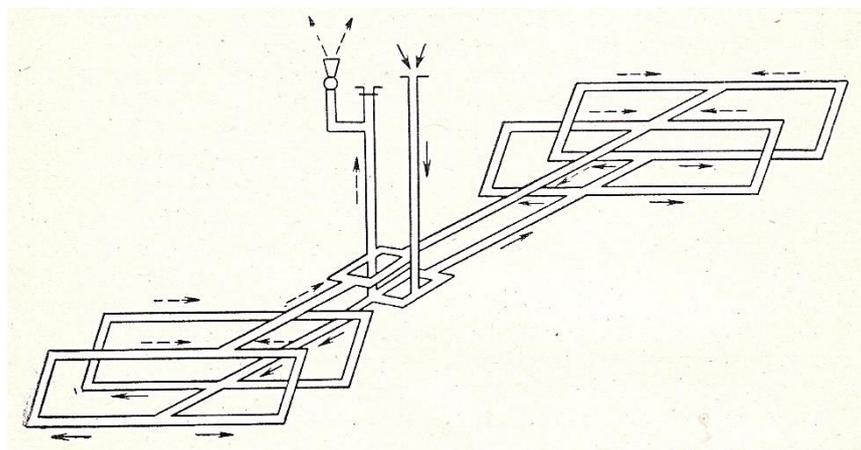


Рис. 13. Центральная схема вентиляции.

Достоинства центральной схемы - относительно малые капитальные затраты; быстрый ввод шахты в эксплуатацию; незначительные потери руды в целиках; концентрация поверхностных сооружений; проще управление проветриванием.

К недостаткам относятся: высокая депрессия из-за протяжённости пути движения вентиляционной струи; большие утечки воздуха в околоствольных дворах; необходимость большого диапазона регулирования работы вентилятора по мере продвижения очистной выемки от стволов; необходимость в специальном вентиляционном горизонте.

При фланговой (диагональной) схеме вентиляции в центре шахтного поля располагаются один или два обычно воздухоподающих ствола, на границах шахтного поля располагаются фланговые воздуховыдающие стволы. Схема является прямоточной, т.е. воздух движется в одном направлении.

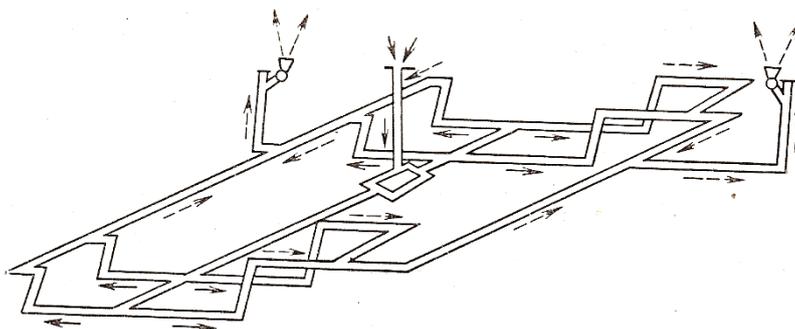


Рис. 14. Фланговая схема вентиляции

При большой длине шахтного поля и склонности руды и угля к самовозгоранию на каждом фланге проходятся по одному вентиляционному стволу. При небольшом количестве выемочных участков и их удалённости от центрального ствола проходятся участковые или групповые вентиляционные стволы.

Достоинства схемы – отсутствие утечек; уменьшение общешахтной депрессии за счёт сокращения пути движения вентиляционной струи; незначительное изменение депрессии с развитием горных работ; исключается необходимость в поддержании выработок вентиляционного горизонта в течение всего периода отработки шахтного поля.

К недостаткам относятся: большие капитальные затраты при предварительной проходке выработок до границ шахтного поля; наличие большого числа вентиляционных установок, усложняющих управление вентиляторами, обслуживание и энергоснабжение их; трудности реверсирования струй при аварийных режимах.

Комбинированные схемы вентиляции шахт сочетают в себе элементы центральной и фланговых схем с целью использования их преимуществ. В этом случае отдалённые участки шахт проветриваются по прямоточной фланговой схеме отдельно от других проветриваемых по возвратноточной центральной схеме. Схема применяется на крупных шахтах и рудниках. Количество стволов достигает до 10.

Достоинства схемы – при значительном числе выработок и больших размерах шахтного поля депрессия невысокая, надёжность проветривания отдельных участков повышается, упрощается регулирование распределения воздуха, увеличивается число выходов на поверхность.

Недостатки – сложность вентиляционной сети и управления вентиляцией по шахте в целом, большие капитальные затраты.

## **12. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ, ИХ НАЗНАЧЕНИЕ, РАЗДЕЛЕНИЕ НА ГРУППЫ И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НИМ. ПРОВЕТРИВАНИЕ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК НАГНЕТАТЕЛЬНЫМ, ВСАСЫВАЮЩИМ И КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК. ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

Вентиляционные сооружения служат для регулирования и управление вентиляционной струей. По назначению они делятся на группы:

- 1) для пропуска воздуха;
- 2) для регулирования распределения воздуха;
- 3) для изоляции вентиляционных струй.

Для пропуска воздуха служат каналы вентиляторов и кроссинги. Конструкция их должна быть компактна и должны обеспечивать простоту управления и контроля работы вентиляторной установки, реверсирование вентиляционной струи и удобство обслуживания и ремонт вентилятора и вспомогательных устройств, малое аэродинамическое сопротивление и

герметичность. Скорость движения воздуха в них не должна превышать 15 м/с.

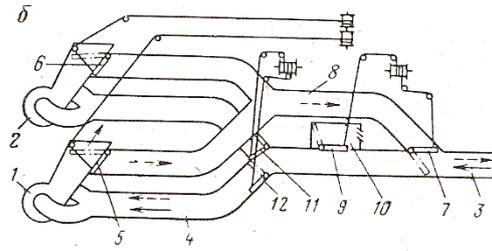


Рис. 15. Схема вентиляторной установки с двумя центробежными вентиляторами

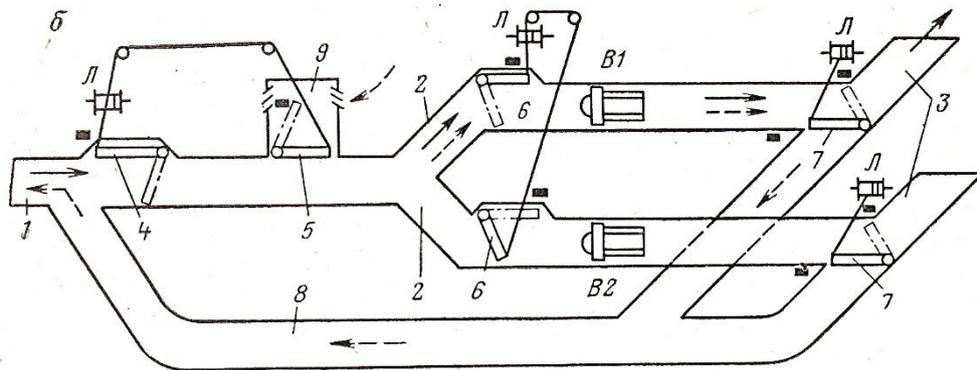


Рис. 16. Схема вентиляторной установки с двумя осевыми вентиляторами

В местах пересечения вентиляционных струй в выработках сооружаются кроссинги. Кроссинги бывают глухие и со шлюзами для прохода людей. Кроссинги сооружаются из камня, бетона, железобетона или металлических труб. Скорость движения воздуха в них не более 10 м/с.

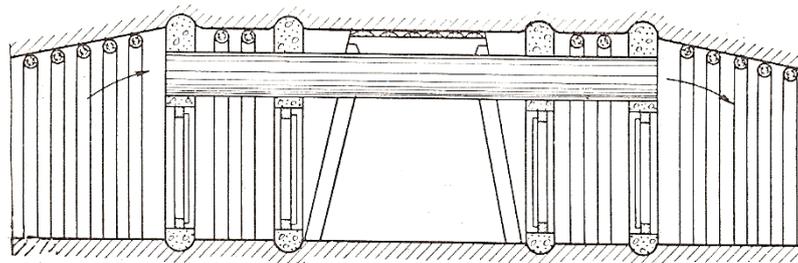


Рис.17. Общий вид трубчатого кроссинга

Для регулирования расхода воздуха в выработке применяются вентиляционные двери с вентиляционными окнами и без них. Двери снабжаются приводным устройством и могут быть автоматизированы.

Изоляция вентиляционных струй достигается герметизацией надшахтных зданий, сооружением глухих перемычек, вентиляционных дверей и шлюзов.

Герметизацией надшахтных зданий предотвращается неконтролируемые утечки или подсосы воздуха через ствол с клетьевым или скиповым подъемом к вентилятору. Отверстия для пропуска канатов

перекрываются клапанами, в бункерах постоянно оставляется некоторое количество руды или породы. Для пропуска людей и грузов устраиваются шлюзы с полуавтоматическими дверями.

Глухие перемычки служат для прекращения движения воздуха или изоляции пожаров. Они бывают временные и постоянные. Временные могут быть дощатые, парусными (из брезента, синтетической ткани), надувными, глинобитными и пр. Постоянные сооружаются из шлако – и бутобетона, камня, кирпича, шлакоблоков, пенопласта и др. В месте установки перемычки предварительно делается вруб, чтобы перекрыть трещины в стенках выработки. При наличии угрозы взрыва горючих газов и пыли возводятся две перемычки: гасящая (щелевая) и на расстоянии до 3 диаметров выработки изоляционная (герметичная).

Вентиляционные двери устанавливаются в действующих выработках. Чтобы не нарушать режим вентиляции устанавливаются две-три двери, образующие шлюз. Расстояние между дверями должно быть больше максимальной длины состава. При движении только людей 5 - 6 м. При ручном открывании в дверях должны быть предусмотрены разгрузочные окна. При интенсивном движении транспорта двери должны быть автоматическими.

#### Проветривание тупиковых выработок при их проведении.

Выработки сообщающиеся с другой выработкой только в одном месте называется тупиковой. Когда длина выработки менее 60 м она иногда проветривается за счёт работы вентилятора главного проветривания с помощью продольной перегородки, вентиляционной трубы или с использованием параллельных выработок в сочетании перемычкой.

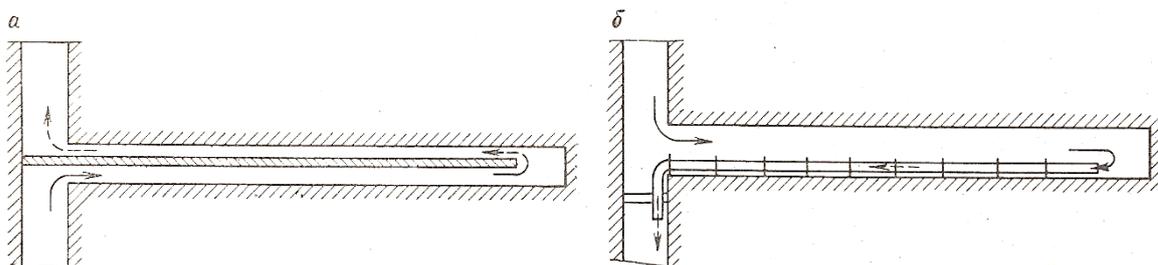


Рис. 18. Проветривание тупиковых выработок за счёт общешахтной депрессии

Обычно проветривание осуществляется вентиляторами местного проветривания. Существуют следующие способы проветривания: нагнетательный, всасывающий и комбинированный.

Нагнетательный способ вентиляции является наиболее распространённым, а на газовых шахтах обязательным и единственным.

Струя свежего воздуха из вентиляционной трубы эффективно проветривает призабойную зону и выносит вредности по выработке.

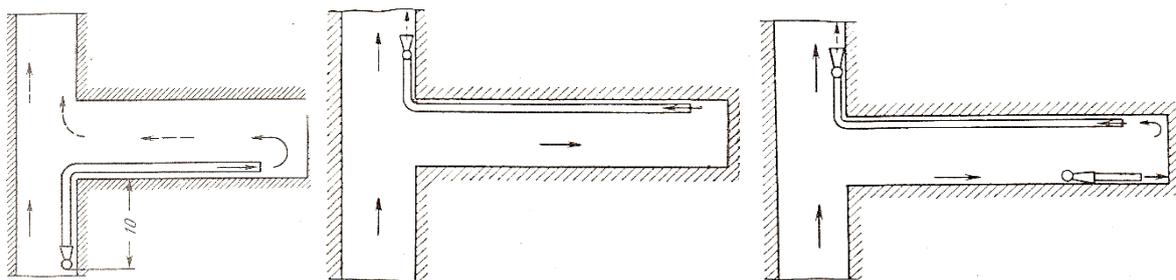


Рис. 19. Способы проветривания тупиковых выработок вентиляторами

Длина проветриваемой призабойной зоны (по В.Н.Воронину) не более  $l = 4\sqrt{S}$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки. По Правилам безопасности конец трубы должен отстоять от забоя не более 8 м в газовых шахтах и 12 м в негазовых.

Утечки воздуха из воздухопровода играют положительную роль, т.к. разбавляют загрязнённый воздух, выходящий из выработки. При этом способе необходимо предотвращать рециркуляцию воздуха установкой вентилятора на расстоянии не менее 10 м от устья выработки и ограничит производительность вентилятора 70% от расхода воздуха по сквозной выработке, в которой скорость движения воздуха должна быть больше 0,15 м/с, т.е. больше скорости диффузии газов.

Особенность нагнетательного способа в том, что в забое наиболее чистый воздух, по мере удаления от забоя он более загрязнён. Люди могут войти в выработку при содержании ядовитых газов в пересчёте на окись углерода не более 0,008% по объёму наиболее загрязнённого воздуха.

Всасывающий способ вентиляции может применяться в шахтах и рудниках, неопасных по газу. В качестве воздухопровода используются жёсткие трубы. Если вентилятор устанавливается вблизи забоя, то до сквозной выработки протягиваются гибкие трубы.

Достоинство способа в том, что загрязнённый воздух удаляется по трубам, а свежий воздух поступает в забой по выработке, поэтому люди могут находиться в выработке за зоной отброса породы и газов. Длина этой

зоны  $l_{з.о.} = \frac{20B}{\rho l_n \sqrt{S}}$ , где  $\rho$  – плотность взрываеваемой горной массы, т/м<sup>3</sup>;  $l_n$  –

подвигание забоя за одно взрывание, м.

Забой хорошо проветривается, если конец трубопровода отстоит от забоя не более  $3\sqrt{S}$ , м.

Недостатки способа: из-за вероятности повреждения трубы от взрыва это расстояние трудно выдержать; скорость движения воздуха по выработке должна быть больше 0,15 м/с.

Комбинированный способ вентиляции применяется при скоростном проведении выработок на негазовых шахтах. При этом используются преимущества нагнетательного и всасывающего способа.

При комбинировании способов одним вентилятором вначале воздух из забоя отсасывается и, когда удаляется газовое облако, в забой нагнетается свежий воздух. При использовании двух вентиляторов один располагается в устье выработки и работает на всас, другой вблизи забоя работает на нагнетание. Производительность нагнетательного вентилятора должна быть на 20–39% меньше всасывающего. При использовании перемычки захватывающего оба трубопровода эта разность может быть сокращена до 10%.

Проектирование вентиляции проходческой выработки включает:

- а) выбор способа проветривания;
- б) расчёт потребного количества (расхода) воздуха;
- в) выбор и определение аэродинамических характеристик трубопровода;
- г) выбор вентилятора местного проветривания.

Расход воздуха определяется по расходу ВВ, по числу работающих людей, газовыделению, минимальной скорости движения воздуха и тепловому фактору.

Расчёт расхода воздуха *по людям* производится по формуле

$$Q_{п.з.}^n = 6N_{ч.}, \text{ м}^3/\text{мин}; \quad (33)$$

где 6 м<sup>3</sup>/мин.чел – норма расхода воздуха на одного человека; N<sub>ч</sub> – максимальное количество людей в забое.

Расход воздуха *по количеству взрываемого ВВ* производится по формуле

$$Q_{п.з.}^{ВВ} = \frac{2,25}{T} \sqrt[3]{\frac{k_{обв}}{k_{ут.мп}^2} V_{ВВ} S^2 l_{кр}^2} \quad (34)$$

где T- время проветривания выработки, мин;

V<sub>ВВ</sub> – объём вредных, образующихся при взрыве, л, определяется по формуле: V<sub>ВВ</sub> = 100V<sub>уг</sub> + 40V<sub>пор</sub>; где V<sub>уг</sub> и V<sub>пор</sub> масса одновременно взрываемого ВВ соответственно по углю и породе кг;

k<sub>обв</sub> - коэффициент учитывающий обводнённость выработки;

k<sub>ут.мп</sub> - коэффициент утечек воздуха в трубопроводе.

S - площадь сечения выработки, м<sup>2</sup>;

l<sub>кр</sub> - критическая длина, м; при длине тупиковой выработки 500м и более l<sub>кр</sub> = 500м, при меньшей длине l<sub>кр</sub> = 12,5V<sub>ВВ</sub>k<sub>м</sub>k<sub>эл</sub>/S, где - коэффициент турбулентной диффузии имеет значение 0,3-0,9; - коэффициент изменения температуры с глубиной и обводнённостью, принимает значения 0,1-0,9

$k_{обв}$  – коэффициент обводнённости выработки:

Приток воды, м <sup>3</sup> , час	<1	1-6	6-15	≥15
$k_{обв}$	0,8	0,6	0,3	0,15

$k_{ут.тр.}$  - коэффициент утечек в трубопроводе.

Расчёт воздуха по *вредным газам*, выделяющимся из пород, ведётся по формуле:

$$Q_{н.з}^2 = \frac{I_z}{C_{доп} - C_o} 100, \quad (35)$$

где  $I^z$  - газообильность выработки, м<sup>3</sup>/мин;  $C_{доп}$  и  $C_o$  – допустимая концентрация газа в исходящей струе и начальная в поступающей в забой, %.

Расчёт воздуха по *выхлопным газам* ведётся по формуле

$$Q_{н.з}^{ДВС} = n G_{уд} N_{ДВС}, \text{ м}^3/\text{мин}; \quad (36)$$

где  $G_{уд}$  – удельный расход воздуха на единицу мощности ДВС; 5 м<sup>3</sup>/мин на 1 л.с. или 6,8 м<sup>3</sup>/мин на 1 кВт.

$N_{ДВС}$  - суммарная мощность одновременно работающих машин;

$n$  - коэффициент, учитывающий количество одновременно работающих машин, ( $n = 1$  при одной машине,  $n = 0,85$  при двух и  $n = 0,6$  при трёх и более).

Полученный наибольший результат проверяется по допустимым скоростям движения воздуха в выработке

$$60SV_{\min} \leq Q_{нз} \leq 60SV_{\max} \quad (37)$$

Необходимая производительность вентилятора определяется по формуле

$$Q_v \geq k_{ут.в} Q_{н.з} \quad (38)$$

где  $k_{ут.в}$  – коэффициент утечек воздуха в вентиляторе.

При этом необходимо, чтобы расход воздуха в выработке откуда засасывается вентилятором воздух был больше

$$Q_{вс} \geq 1,43Q_v \quad (39)$$

Расчёт депрессии вентиляционной сети из жёстких труб производится по формуле

$$h_в = k_{ут.тр} R Q_{н.з}^2 + \sum h_m \quad (40)$$

где  $k_{ут.тр}$  – коэффициент утечек воздуха в трубопроводе;

$R_{тр}$  - сопротивление трения трубопровода;

$\sum h_m$  – сумма потерь давления на преодоление местных сопротивлений в трубопроводе.

Для каждого поворота трубопровода потеря давления

$$h_m = 0,035 \delta^2 v_{cp}^2 \quad (41)$$

где  $\delta$  – угол поворота трубопровода в рад;  $v_{cp}$  – средняя скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с.

Для гибкого трубопровода

$$h_g = R_{mp} Q_{n.з}^2 \quad (42)$$

По производительности и депрессии выбирается вентилятор по его характеристике.

### **13 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ РУДНИКОВ. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ВЫБОР СХЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА ПО ЛЮДЯМ, ОДНОВРЕМЕННО ВЗРЫВАЕМОГО ВВ, ПО ВЫНОСУ ПЫЛИ, ПО ВЫХЛОПНЫМ ГАЗАМ, ПО ДОБЫЧЕ. ПОЗАБОЙНЫЙ МЕТОД**

Правильное решение задач вентиляции на стадии проектирования является непременным условием нормального проветривания шахты при её эксплуатации. Ошибки в проектировании приводят к ухудшению безопасности труда, увеличению трудоёмкости и затрат на реконструкцию шахты.

Проектирование шахты производится в тесной увязке с технологическим процессом. Порядок проектирования, следующий: конструирование схемы вентиляции; прогноз выделения вредностей в горные выработки; расчёт расхода воздуха; расчет калорифера для подогрева воздуха в зимнее время; проверка сечений выработок по допустимым скоростям движения воздуха; расчёт депрессии шахты; выбор способа вентиляции и главного вентилятора; расчёт экономических показателей шахты. Для сильногазовых шахт выполняется дополнительно проект дегазации, для глубоких шахт – проект кондиционирования воздуха.

Выбор схемы вентиляции должен обеспечить минимальное сопротивление вентиляционной сети при максимальном расходе воздуха, утечки воздуха должны быть минимальными, что достигается разделением свежих и исходящих струй, минимальным числом пересечений и вентиляционных сооружений. Нужно стремиться, чтобы выработки проветривались деятельными сквозными струями свежего воздуха за счёт общешахтной депрессии. Запрещается подача воздуха в шахту по скиповым стволам и наклонным стволам, оборудованным конвейерным транспортом.

Схема вентиляции должна обеспечивать обособленную вентиляцию очистных забоев и мест основного газовыделения; лёгкость реверсирования струи и экономичность системы.

Принципы расчёта расхода воздуха: расчёт расхода воздуха для шахты в целом и определение расхода воздуха для каждого места потребления шахты (забои, камеры и т.п.) с последующим их суммированием. Второй, позабойный метод более точный и позволяет учитывать все особенности шахты.

Расчет расхода воздуха по потреблению кислорода (**по людям**) наибольшим количеством людей, находящемся в шахте, производится по той же норме, как и при расчёте расхода воздуха в тупиковом забое.

$$Q_{\text{ш}} = 6Nk_3 \quad (43)$$

Где N – наибольшее число людей в шахте;

$k_3$  – коэффициент запаса равный от 1,35 до 1,65

Этот расчёт ориентировочный, имеет значительный запас, достаточный для расхода воздуха на окисление пород, гниение крепи и т.п. Расход воздуха по этому показателю обычно меньше чем по другим факторам.

Расчёт воздуха **по пыли** основывается на обеспечении эффективного его выноса в отдельной выработке

$$Q = 60v_{\text{опт}}S \quad (44)$$

где  $v_{\text{опт}}$  – оптимальная скорость воздуха по выносу пыли, м/с;

S – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>.

В целом по шахте расход воздуха **по пыли** при суточной добыче шахты можно определять по формуле

$$Q_{\text{ш}} = 195A_{\text{ш}} \quad (45)$$

Где  $A_{\text{ш}}$  – суточная производительность шахты, м<sup>3</sup>/сут.

**По расходу ВВ** для шахты в целом расход воздуха

$$Q_{\text{ш}} = \frac{100I_{\text{ВВ}}Bk_3}{Tc_{\text{доп}}} \quad (46)$$

Для очистных забоев штрекообразной выработки

$$Q_{\text{оч}} = \frac{24}{T} \sqrt{BS_{\text{оч}}l_{\text{оч}}} \quad (47)$$

Для сквозных очистных забоев в виде камер

$$Q_{\text{оч}} = 2,3 \frac{V_{\text{к}}}{k_{\text{к}}T} \lg \frac{100I_{\text{ВВ}}B}{c_{\text{доп}}V_{\text{к}}} \quad (48)$$

где  $I_{\text{ВВ}}$  – газовость ВВ, м/кг; B – количество одновременно взрываемого ВВ, кг; T – время проветривания, мин;  $c_{\text{доп}}$  – максимально допустимое

содержание газа в исходящей струе воздуха, %;  $S_{оч}$  – площадь поперечного сечения очистной выработки,  $m^2$ ;  $l_{оч}$  – длина рабочего пространства очистной выработки, м;  $V_k$  – объём камеры,  $m^3$ ;  $K_k$  – коэффициент турбулентной диффузии свободной струи воздуха.

При массовых взрывах время проветривания или интенсивность её увеличивается. При интенсивном проветривании блока расход воздуха определяется по формуле

$$Q_{\delta} = \frac{a}{T} \sqrt{BV_3} \quad (49)$$

где  $a$  – коэффициент режима работы вентилятора; при нормальном режиме  $a = 40,3$ , при усиленном режиме от 40,3 до 50;

$V_3$  – объём загазованных выработок,  $m^3$ ;

При усиленном режиме вентиляции в формуле (49) фактическое количество одновременно взрываемого ВВ (В, кг) уменьшается в 6 – 8 раз, т.к. при взрыве значительная часть газов остаётся в разрыхленной горной массе.

Расход воздуха для выработки **по выхлопным газам** можно определять по номинальной мощности двигателей внутреннего сгорания и норме подачи воздуха  $b_m = 5 - 6$   $m^3/л.с.$  в мин

$$Q_m = b_m N_m \quad (50)$$

где  $N_m$  – суммарная мощность всех двигателей, работающих в выработке, л.с.

Производительность главного вентилятора

$$Q_{\delta} = k_{ym} Q_{ш} \quad (51)$$

где  $k_{ym}$  – коэффициент внешних утечек воздуха. При расположении вентилятора на скиповом подъёме  $k_{ym} = 1,25$ ; на клетьевом – 1,20 и на стволах без подъёма – 1,10; на шурфах, используемых для спуска материалов – 1,30;

$Q_{ш}$  – расчётный суммарный расход воздуха шахты,  $m^3/мин.$

#### **14. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХА ПО ВЫРАБОТКАМ, ПРОВЕРКА СЕЧЕНИЯ ВЫРАБОТКИ ПО ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА. РАСЧЁТ ДЕПРЕССИИ РУДНИКА. ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ**

При расчёте расхода воздуха *позабойным методом* распределение воздуха по выемочным участкам и проходческим выработкам производится на основании полученных результатов. При общешахтных *методах расчёта для шахты* в целом расход воздуха распределяется пропорционально фактическому газовыделению, пылепоступлению или пропорционально числу занятых людей. Если установить распределение вредностей по объектам то воздух распределяется пропорционально добыче полезного

ископаемого. После распределения расхода воздуха производится проверка поперечных сечений выработок по допустимым максимальным и минимальным скоростям её движения по формуле

$$v_p = \frac{Q_p}{\varphi_3 S_{выр}} \quad (52)$$

где  $\varphi_3$  – коэффициент загромождения сечения выработки, учитывающий уменьшение площади сечения выработки (для стволов  $\varphi_3 = 0,9 \div 0,95$ ).

Распределение расхода воздуха осуществляется с помощью вентиляционных сооружений и контролируется определением расхода по скорости движения воздуха и поперечному сечению выработок.

Для определения *депрессии шахты* выбирают направления, которое начинается с устья воздухоподающего ствола и заканчивается в устье воздуховыдающего ствола. Направления охватывает все основные выработки шахты. Поскольку длина выработок изменяется в процессе ведения горных работ расчёт ведут для минимального и максимального значения сопротивления и депрессии. Расчёт для каждого направления ведётся в форме таблицы, в графах которой указываются наименование выработок, обозначение начала и конца их на схеме, тип крепи, аэродинамические параметры выработки: коэффициент сопротивления трения ( $\alpha$ ), периметр (P), сечение (S), минимальное и максимальное сопротивление (R); расход воздуха в начале и конце выработки, скорость движения воздуха, максимальная и минимальная депрессия.

За *депрессию шахты* принимают максимальное значение депрессии одного из рассчитанных направлений. Если естественная тяга действует в направлении вентиляционной струи, то его не учитывают. Этим создаётся дополнительный запас. Если *естественная тяга* действует против направления струи, то расчётную депрессию увеличивают на максимальное значение естественной тяги.

Для высокогорных шахт депрессию умножают на коэффициент  $760/p$ , где  $p$  – атмосферное давление на высоте расположения шахты.

Для *выбора главного вентилятора* определяют его депрессию

$$h_6 = h_{ш} + h_{вн} \quad (53)$$

где  $h_{ш}$  – депрессия шахты;  $h_{вн}$  – внутренние потери давления в вентиляторе.

$$h_{вн} = \alpha \frac{\pi Q_6^2}{D^4} \quad (54)$$

где  $\alpha$  – коэффициент типа вентилятора равный от 0,04 до 0,1;

$D$  – диаметр рабочего колеса, м.

Выбор вентилятора производится по их характеристикам, приведённым в каталогах. Границы возможных режимов работы вентилятора должны включать минимальные и максимальные депрессии и расходы воздуха (дебиты) при к.п.д. не менее 0,6. Вентилятор должен иметь резерв (20%) выше максимального значения. При горбатой характеристике вентилятора максимальная депрессия должна составлять не более 0,9 горба, что обеспечит

устойчивую его работу на правой нисходящей ветви характеристики. По характеристике вентилятора определяется его к.п.д.

Мощность двигателя вентилятора определяется по формуле

$$N_{\epsilon} = \frac{Q_{\epsilon} h_{\epsilon}}{102 \eta_{\epsilon} \eta_{\delta} \eta_n} \quad (55)$$

где  $\eta_{\epsilon}$  – к.п.д. вентилятора;  $\eta_{\delta}$  – к.п.д. двигателя;  $\eta_n$  – к.п.д. передачи от двигателя к вентилятору.

При депрессии до 150 кгс/м<sup>2</sup> рекомендуются осевые вентиляторы, при депрессии 150-300 – осевые и центробежные, при депрессии более 300 – центробежные. При необходимости в высокой депрессии предусматривается совместная последовательно соединённых центробежных вентиляторов, при необходимости большой производительности параллельно соединённых центробежных вентиляторов.

## 15. АЭРОЛОГИЯ КАРЬЕРОВ

Работа практически всех машин и механизмов, составляющих технологический комплекс карьеров, сопровождается выделением вредных примесей. При достаточно активном естественном воздухообмене между процессами поступления и выноса устанавливается динамическое равновесие, благодаря чему среднее содержание вредных примесей в атмосфере карьера большую часть времени не превышает предельно допустимых концентраций

Общее загрязнение атмосферы карьеров наблюдается, как правило, в периоды безветренной погоды и особенно при инверсиях. Оно возникает либо вследствие постепенного накопления вредных примесей при работе горно-транспортного оборудования, либо после массового взрыва, произведенного при неблагоприятных метеорологических условиях.

При слабых ветрах возможно образование "труднопроветриваемых" зон с повышенными концентрациями вредных примесей, т.е. местных загрязнений. Местные загрязнения атмосферы наблюдаются обычно в зонах наибольшей концентрации горнотранспортного оборудования: у разгрузочных площадок, рудоспусков, в выездных траншеях, а также на нижних горизонтах карьеров.

Источники загрязнения атмосферы могут находиться как в карьере, так и за его пределами. Они характеризуются интенсивностью, т.е. количеством токсичных газов и пыли, выделяемых в единицу времени. В табл. 5 приведены характеристики интенсивности пылевыведения при основных процессах в карьерах. Интенсивность большинства источников пылевыведения в карьере зависит от многих факторов, в том числе от скорости движения и температуры воздуха в зоне работающего

оборудования. Переменную, зависящую от внешних условий и интенсивности выделения вредных примесей, имеют все машины и устройства, перегружающие горную массу в потоке движущегося воздуха, а также автомобили, бульдозеры и др.

Дисперсность пыли, образующейся при работе карьерного оборудования, высокая, более 90% пылинок имеют размеры менее 5 мкм и лишь 2,5% — более 10 мкм. Основная масса обнаруживаемой в атмосфере карьеров пыли является "старой", т.е. отделенной от массива ранее и взмученной при движении автомобилей или при взрывах. При бурении, погрузке, дроблении горной массы в атмосферу поступает в основном "свежая" пыль, которая представляет наибольшую силикозоопасность.

Причиной весьма сильного, но, как правило, кратковременного загрязнения атмосферы карьеров и прилегающего района являются взрывные работы. Газопылевое облако при мощном массовом взрыве выбрасывается на высоту до 150-250 м, а затем, достигнув уровня конвекции, распространяется по ветру на значительные расстояния. Объем облака составляет 15 — 20 млн. м<sup>3</sup>, а концентрация пыли в нем достигает 4000 мг/м<sup>3</sup>. Удельное пылеобразование при взрывах изменяется от 0,04 до 0,154 кг пыли на 1 кг взорванного ВВ. При взрывах выделяются также значительные объемы ядовитых газов — в основном окись углерода и окислы азота. Количество газов зависит от типа ВВ и свойств взрываемых пород. С увеличением удельного расхода ВВ в два раза удельное пылевыделение возрастает в 6 раз. При обводнённости взрываемого блока концентрация пыли в облаке резко уменьшается.

В настоящее время взрывные работы на большинстве карьеров не приводят к длительным загрязнениям атмосферы, поскольку уровень конвекции (исключая периоды инверсий) оказывается, как правило, выше верхней отметки карьера. С увеличением глубины карьеров до 500 м и более массовые взрывы могут стать основным источником загрязнения атмосферы.

Интенсивным и постоянно действующим источником загрязнения воздуха в карьерах является автотранспорт. Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания представляют сложную многокомпонентную смесь. В настоящее время в их составе определяется уже более 200 различных веществ. Из аэрозольных компонентов наиболее опасна сажа, выбрасываемая в виде частиц с преобладающим размером 0,05-0,5 мкм (до 98%). Частицы сажи, обладая значительной удельной поверхностью (до 75 м<sup>2</sup>/г), сорбируют канцерогенные и другие токсические вещества, которые, попадая в организм человека, могут привести к тяжелым последствиям.

Из газообразных выбросов карбюраторных двигателей наиболее опасными являются окись углерода (до 95% общей токсичности выхлопа); дизельных - окислы азота (до 50%), окись углерода (до 25%) и альдегиды (до 20%). При наличии в атмосфере карьеров с автотранспортом повышенных концентраций окиси углерода и окислов азота, как правило, отмечаются и высокие содержания альдегидов. Состав токсичных выбросов карьерных автомобилей в значительной мере зависит от режима работы двигателя и характеристики трассы. Средние по нескольким карьерам данные состава выхлопных газов приведены в табл. 5

Значительные выделения газов из руд и горных пород, способные нарушить нормальную работу карьеров, отмечаются лишь в единичных случаях. Тем не менее, случаи загрязнения атмосферы карьеров углеводородами, выделяющимися из отбитой горной массы и грунтовых вод, неоднократно отмечались на серном месторождении Шорт-Су в Средней Азии (где на 1 т отбитой руды выделяется более 700 г углеводородов), а углекислым газом - на угольном карьере Тарнобжик (Польская Народная Республика).

Состав атмосферы глубоких карьеров достаточно сложен и к его оценке следует подходить, исходя из медико-биологических требований, учитывая концентрации вредных примесей, направление их действия, степень токсичности. Медико-биологические требования к составу воздуха в карьерах определены предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Однако содержание токсичных веществ в воздухе на уровне ПДК не может рассматриваться в качестве оптимального состава воздушной среды. Учитывая одновременное присутствие в атмосфере карьеров большого числа аэрозольных и газообразных примесей, необходимо стремиться к тому, чтобы достичь концентраций значительно более низких, чем предельно допустимые.

Состав атмосферы объектов открытых горных работ должен отвечать установленным нормативам по содержанию основных составных частей воздуха и вредных примесей (пыль, газы) с учетом действующих государственных стандартов.

Воздух рабочей зоны должен содержать по объему 20 % кислорода и не более 0,5 % углекислого газа; содержание других вредных газов не должно превышать установленных санитарных норм.

Таблица 5

Предельно допустимые концентрации газообразных примесей в атмосфере карьеров

Газы	Предельно допустимая концентрация	
	мг/м <sup>3</sup>	% по объему
Акролеин	0.7	0,000028
Формальдегид	0.5	0,000037
Окислы азота (в пересчете на N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	5	0,0001
Оксид углерода	20	0,0016
Сернистый ангидрид	10	0,00035
Сероводород	10	0,00066
Углекислый газ	-	0,5

Места отбора проб и их периодичность устанавливаются графиком, утвержденным техническим руководителем организации, но не реже одного раза в квартал и после каждого изменения технологии работ.

Допуск рабочих и специалистов на рабочие места после производства массовых взрывов разрешается после получения ответственным руководителем взрыва сообщения от специализированного профессионального аварийно-спасательного формирования о снижении концентрации ядовитых продуктов взрыва в воздухе до установленных санитарных норм, но не ранее чем через 30 мин после взрыва, рассеивания пылевого облака и полного восстановления видимости, а также осмотра мест (места) взрыва ответственным лицом (согласно распорядку массового взрыва).

Во всех случаях, когда содержание вредных газов или запыленность воздуха на объекте открытых горных работ превышают установленные нормы, должны быть приняты меры по обеспечению безопасных и здоровых условий труда.

Запыленность воздуха на рабочих местах не должна превышать ПДК, которые в зависимости от содержания свободной SiO<sub>2</sub> в пыли и ее минералогического состава колеблются от 1 до 10 мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 6

Предельно допустимые концентрации пылевидных примесей в атмосфере карьеров

Характеристика пыли	Предельно допустимая концентрация, мг/м <sup>3</sup>

Пыль, содержащая более 70% свободной SiO	1
Пыль, содержащая более 10% свободной SiO <sub>2</sub> и более 10% асбеста	2
Пыль гранита	2
Асбестовая пыль и пыль смешанная, содержащая более 10% асбеста	2
Пыль силикатов (тальк, оливин и др.), содержащая менее 10% свободной SiO <sub>2</sub>	4
Пыль слюды-сырца с примесью свободной SiO <sub>2</sub> до 28%	2
Пыль слюды (флогопит, мусковит)	4
Пыль барита, апатита, фосфорита, цемента, содержащая менее 10% SiO <sub>2</sub>	5
Пыль глин, цемента, минералов и их смесей, не содержащих свободной SiO <sub>2</sub>	6
Пыль угольная и угольно-породная, содержащая до 10% свободной SiO <sub>2</sub>	4
То же, при содержании от 10 до 70% SiO <sub>2</sub>	4
Пыль угольная, не содержащая свободной SiO <sub>2</sub>	10
Прочие виды минеральной и растительной пыли, не содержащие SiO <sub>2</sub> и примесей токсичных веществ	10

Большую часть времени удовлетворительный воздухообмен в карьерном пространстве обеспечивается естественными вентиляционными силами. При штилях или недостаточной активности естественного воздухообмена возникает дефицит в свежем воздухе, который должен восполняться средствами искусственной вентиляции.

Основной инженерной задачей является обеспечение взаимодействия применяемых технических средств с природными силами, осуществляющими естественный воздухообмен в карьерах. Выполнение этого требования является обязательным условием успешного применения инженерных мероприятий. Знание основных закономерностей естественного воздухообмена в карьерах необходимо как для правильного выбора режимов работы карьера (в частности, времени проведения взрывных работ), так и для эффективного использования средств пылегазоподавления и искусственной вентиляции.

Метеорологическими наблюдениями установлено, что в карьерном пространстве формируется собственный микроклимат, особенности которого проявляются все более четко по мере увеличения глубины разработок. На нижних горизонтах глубоких карьеров отмечаются существенные различия в

температуре воздуха, влажности, прозрачности атмосферы, количестве осадков. Увеличение глубины сопровождается ухудшением условий воздухообмена в карьерном пространстве, что связано как с падением активности ветрового потока, так и с уменьшением интенсивности солнечной инсоляции, приходящейся на единицу площади обнаженных поверхностей.

Следствием этого является возникновение "труднопроветриваемых", объем которых, как правило, увеличивается с глубиной и находится в ой зависимости от величины скорости ветра на поверхности. Основными факторами, определяющими активность естественного воздухообмена в карьерах, являются ветровая энергия, солнечная радиация и термическая стратификация атмосферы карьера и вышележащих слоев. При определенных условиях на естественный воздухообмен могут влиять окислительные процессы и глубинное тепло Земли (особенно при высоких значениях геотермических градиентов).

В реальных условиях воздухообмен в карьерах определяется совместным действием ряда факторов, дифференцировать удельное значение которых методами непосредственных измерений практически невозможно. Определяющим фактором в процессе аэрации карьеров является ветровая энергия. Местные потоки, вызванные солнечной радиацией, при наличии ветра выполняют второстепенную роль. Термическая стратификация атмосферы в карьере и вышележащих слоях либо способствует развитию вертикальных перемещений воздуха, либо препятствует ему.

Для создания безопасных атмосферных условий при проектировании новых или реконструкции действующих карьеров в техническом проекте разрабатывается специальный раздел, в котором дается оценка воздушной среды и обосновываются необходимые мероприятия по снижению запыленности, загазованности воздуха и обеспечению комфортных условий труда в период разработки месторождений.

Раздел проекта, посвященный созданию безопасных атмосферных условий, состоит из трех основных частей: в первой части дается оценка интенсивности естественного проветривания на различных этапах разработки карьера, во второй - обосновывается необходимый комплекс мероприятий, направленных на обеспечение нормального состава атмосферы, и в третьей, заключительной части, рассматриваются основные организационные вопросы, связанные с контролем санитарной характеристики атмосферы и экономическими показателями, определяющими затраты, их производственную и социальную эффективность.

Комплекс факторов, определяющих санитарную характеристику воздуха в карьерах, подразделяется, на две группы: а) независимые и

подлежащие обязательному учету; б) управляемые и выбираемые с учетом обеспечения нормального состава атмосферы при использовании соответствующей технологии и т.п. микроклимат рабочих мест, так и интенсивность естественного воздухообмена, являются производными объективно существующих метеорологических условий. Учет климатических условий в процессе проектирования позволяет не только правильно обосновать необходимые средства обеспечения комфортных условий труда, но и одновременно дает возможность определить рациональную компоновку промышленной площадки с соответствующим расположением от въездов, траншей и других горных сооружений.

Управляемая группа факторов — это, прежде всего, технология и техника разработки, выбор которых должен оцениваться и по санитарным характеристикам. При этом экономическое сравнение позволяет, при прочих равных условиях, выбрать более оптимальные варианты с точки зрения предупреждения загрязнения атмосферы, как на рабочих местах, так и в карьерном пространстве,

В целом, проектирование проветривания карьера осуществляется в следующей последовательности:

1. Рассматриваются природные условия района и площадки будущего карьера. При этом анализу подлежат географическое положение месторождения, рельеф, климатические и метеорологические условия района, горно-геологическая характеристика месторождения,

2. Дается санитарная оценка принятой технологии и техники ведения горных работ.

3. Определяются условия и интенсивность естественного воздухообмена в карьере на различных этапах его разработки.

4. Устанавливается суммарное количество примесей, поступающих в атмосферу карьерного пространства, и определяется удельный вес выделения от тех или иных источников.

5. Прогнозируются концентрации примесей в общей атмосфере карьерного пространства и устанавливаются периоды, требующие проведения специальных профилактических мероприятий по оздоровлению воздушной среды в карьере.

6. Обосновываются и выбираются необходимые средства, и методы снижения поступлений пыли и газов в атмосферу карьерного пространства.

7. Определяются концентрации примесей, а также микроклиматическая обстановка на рабочих местах горного оборудования.

8. Устанавливается необходимость искусственной вентиляции отдельных рабочих мест и выбирается соответствующее вентиляционное оборудование для этих целей.

9. Оценивается необходимость искусственного проветривания карьерного пространства в целом или отдельных рабочих зон.

10. Определяется количество воздуха, необходимого для искусственной вентиляции, и выбираются схемы искусственного проветривания.

11. Определяются требуемые параметры вентиляторных установок, и устанавливается их число.

12. Решаются организационные вопросы, связанные с контролем состава воздуха и эксплуатацией средств нормализации атмосферы в карьерном пространстве.

13. Оценивается экономическая эффективность всего комплекса профилактических мероприятий по нормализации состава атмосферы в карьере.

В процессе эксплуатации карьера отдельные разделы проекта подвергаются уточнению в соответствии с изменениями геометрии карьерного пространства, технологии и техники ведения работ, в результате совершенствования методов и средств борьбы с пылью и газами и повышения культуры работы производства в целом.

## **16. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1: ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ РУДНИКА**

**Цель работы:** закрепление теоретических знаний по аэрологии горных предприятий и освоение методов расчёта производительности вентиляционных установок на основе конкретных горно-технических условий рудника. На основании предлагаемой методики студент производит расчёты с соответствующими пояснениями по одному из вариантов заданий.

#### **Общие положения и методика расчётов**

Расчет расхода воздуха для проветривания рудника можно вести двумя методами: по первому методу его рассчитывают сразу для рудника в целом, а

по второму – расход воздуха определяется сумме потребления каждым рабочим местом (забой, камеры и т.д.).

Второй - позабойный метод расчета более совершенен, так как позволяет полнее учесть особенности рудника и выявить необходимое распределение воздуха по горизонтам и участкам.

### Расчет расхода воздуха для вентиляции рудника в целом

Расчет ведется по следующим факторам:

- по наибольшему числу людей

$$Q_p = Q_q \cdot N_q \cdot K_3, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (56)$$

где:

$Q_q = 6 \text{ м}^3/\text{мин}$  - норма расхода воздуха на одного человека;

$N_q$  – наибольшее число людей, одновременно находящихся в руднике;

$K_3$  – коэффициент запаса. Для всасывающего способа вентиляции  $K_3 = 1,4$  при отсутствии аэродинамической связи с поверхностью,  $K_3 = 1,5$  – при наличии такой связи через трещины;  $K_3 = 1,65$  – при значительной зоне обрушения.

При нагнетательно-всасывающем способе  $K_3$  равен соответственно 1,3 и 1,45.

- по выхлопным газам двигателей внутреннего сгорания

$$Q_p \geq 6,8 N_d, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (57)$$

где:  $N_d$  - суммарная номинальная мощность всех двигателей, кВт;

- по газам, образующимся при взрывных работах,

$$Q_p = \frac{150 \cdot B \cdot K_3}{C_q \cdot T}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (58)$$

где:  $B$  – наибольшее количество одновременно взрываемого ВВ, кг;

$K_3 = 1,3 - 1,65$  – коэффициент запаса, зависящий от способа вентиляции;

$C_q$  – допустимая концентрация газов ВВ перед допуском людей (в персчете на условный оксид углерода);  $C_q = 0,008\%$ ;

$T$  – время проветривания, мин.

Таблица вариантов заданий

№	$N_q$ чел	$N_d$ кВт	$B$ кг	$T$ мин	№	$N_q$ чел	$N_d$ кВт	$B$ кг	$T$ мин
1	100	-	800	30	9	500	2600	7000	120
2	150	1200	1200	30	10	550	2800	8000	120
3	200	1500	2000	30	11	590	3000	9000	120
4	250	1600	2500	30	12	600	3200	12000	180
5	300	1800	3000	30	13	620	3400	15000	180
6	350	2000	3500	30	14	640	3600	18000	180

7	400	2200	4000	120	15	670	3800	20000	180
8	450	2400	5500	120	16	700	4000	25000	180

Наибольший полученный результат обеспечивает условиям эффективного проветривания по всем факторам, поэтому принимается за окончательный.

### Позабойный метод расчета расхода воздуха

По этому методу подсчитывают количество воздуха, необходимое для проветривания капитальных, подготовительных, нарезных выработок и очистных забоев распределение его по горизонтам и участкам:

$$Q_p = \left( \sum_{i=1}^n K_o \cdot N_{\delta.i} \cdot Q_{\delta.i} + \sum_{i=1}^n M_{\delta.i} \cdot Q_{нар.i} + \sum_{i=1}^n P_{в.i} \cdot Q_{кап.i} \right) K_z, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (59)$$

где:

$n$  – количество систем разработки;

$m$  - блоков в нарезке;

$p$  - число проходческих забоев капитальных и подготовительных выработок.

$K_o$  – коэффициент одновременности взрывания в блоках (отношение числа одновременно взрывааемых к их общему числу);

$N_{\delta.i}$  – число блоков с данной системой разработки, в которых одновременно ведется очистная выемка;

$Q_{\delta.i}$  – количество воздуха для вентиляции одного блока;

$M_{\delta.i}$  – число блоков данной системы разработки, одновременно находящихся в нарезке;

$Q_{нар.i}$  – количество воздуха для вентиляции нарезных выработок в блоке;

$P_{в.i}$  – число одновременно проводимых капитальных и подготовительных выработок;

$Q_{кап.i}$  – количество воздуха для вентиляции одной капитальной или подготовительной выработки;

$K_z = 1,3-1,65$  – коэффициент запаса, зависящий от способа вентиляции.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2: ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОХОДЧЕСКИХ ВЫРАБОТОК

**Цель работы:** закрепление теоретических знаний по аэрологии горных предприятий и освоение методов расчёта производительности проходческих вентиляторов. На основании предлагаемых методик студент производит расчёты с соответствующими пояснениями по одному из вариантов заданий.

### Общие положения и методика расчётов

В зависимости от протяжённости выработок и конкретных условий применяют нагнетательный, всасывающий и комбинированный способ проветривания (рис.20)

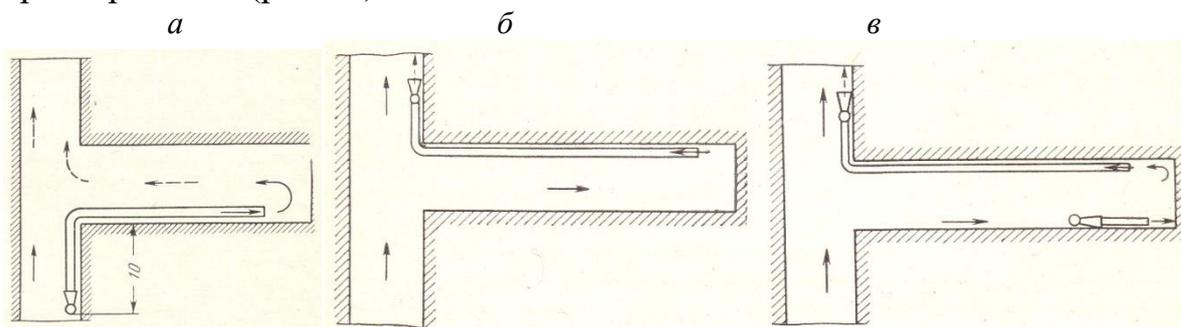


Рис. 20. Способы проветривания тупиковых выработок вентиляторами: а - нагнетательный, б - всасывающий и в - комбинированный

### При нагнетательном проветривании

$$Q_n = \frac{21,4}{t} \sqrt{B \cdot V_e}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (60)$$

где:  $t$  – время проветривания, мин; (время проветривания при всех способах не должно превышать 30 минут);

$B$  – количество взрываемого ВВ, кг;

$V_e$  – объем проветриваемой выработки,  $\text{м}^3$ .

### При всасывающем проветривании

$$Q_{ec} = \frac{6}{t} \sqrt{BS(75 + B)}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (61)$$

где:  $S$  – сечение выработки,  $\text{м}^2$ .

### При комбинированном проветривании

$$Q_k = \frac{0,13 \cdot S}{t} \sqrt[3]{\frac{B}{S} L_1^2}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (62)$$

где:  $L_1$  – расстояние от забоя до всасывающего трубопровода, м.

### При применении самоходного оборудования

$$Q = 6,8 \cdot N_q, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (63)$$

где:  $N_q$  – мощность двигателей, кВт.

### По наибольшему числу людей

$$Q = 6 \cdot N_q, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (64)$$

где:  $N_q$  – максимальное число людей, одновременно находящихся в выработке.

### По пылевому фактору

$$Q \geq V \cdot S, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (64)$$

где:  $V$  – минимально допустимая скорость движения воздуха в выработке (0,3 м/с). При скорости 0,3 м/с необходимо орошение стенок выработки водой.

Таблица вариантов заданий

№	B кг	V <sub>B</sub> м <sup>3</sup>	S м <sup>2</sup>	L <sub>1</sub> м	N <sub>q</sub> кВт	N <sub>ч</sub> чел
1	45	780	6,5	120	-	5
2	60	975	6,5	150	-	6
3	75	1350	9,0	150	100	7
4	90	1800	9,0	200	100	8
5	90	2400	12	200	120	8
6	85	3600	12	300	120	8
7	85	4500	15	300	120	10
8	100	3750	15	250	120	12
9	100	4250	17	250	150	12
10	120	3400	17	200	150	14
11	120	5000	20	250	250	16
12	140	6000	20	300	250	16
13	140	2100	14	150	150	10
14	145	2800	14	200	150	13
15	150	8750	25	350	250	14
17	160	8750	25	350	250	16

Для дальнейших расчетов принимается наибольшее потребное количество воздуха.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛАВООБРАЗНЫХ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК И КАМЕР**

**Цель работы:** закрепление теоретических знаний по аэрологии горных предприятий и освоение методов расчёта расхода воздуха для вентиляции очистных выработок. На основании предлагаемых методик студент производит расчёты с соответствующими пояснениями по одному из вариантов заданий.

#### **Проветривание очистных работ**

При ведении очистных работ с применением массовых взрывов, когда одновременно взрывается большое количество ВВ, для проветривания рудника требуется применение особых режимов и соответствующих количеств воздуха. После массовых взрывов требуется подавать значительно большее количество воздуха, чем в обычных условиях. В результате возникает необходимость в усиленном и нормальном режимах вентиляции. Различие между ними в значительной степени определяется продолжительностью проветривания рудника после массового взрыва. При большой продолжительности проветривания и производстве взрыва в предвыходной день рудник может быть очищен от ядовитых газов и при

нормальном режиме вентиляции, т.е. необходимость в усиленном режиме отпадает.

Расход воздуха для вентиляции блоков при усиленном и нормальном режиме определяется по нижеприведенным формулам.

Необходимая подача воздуха для **проветривания лавообразных выработок** определяется из формулы:

$$Q_{\text{лав}} = 25,5 \frac{S_{\text{л}}}{t} \sqrt{A \cdot S_{\text{л}} \cdot L_{\text{г}}}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (66)$$

где:  $S_{\text{л}}$  – площадь поперечного сечения лавообразной выработки,  $\text{м}^2$ ;

$t$  – время проветривания, мин;

$A$  – количество взорванного в блоке ВВ, кг;

$L_{\text{г}}$  – длина лавообразной выработки от места взрыва по струе до её сопряжения с вентиляционной выработкой, м.

Таблица вариантов заданий

№	A	$S_{\text{л}}$	$L_{\text{в}}$	№	A	$S_{\text{л}}$	$L_{\text{в}}$
1	45	12	70	9	85	12	85
2	50	12	70	10	90	12	85
3	55	14	75	11	95	14	90
4	60	14	75	12	100	14	90
5	65	16	80	13	110	16	100
6	70	16	80	14	120	16	100
7	75	18	85	15	130	18	120
8	80	18	85	16	140	18	120

Необходимая подача воздуха для **проветривания блока с открытыми сквозными камерами** (камерно-столбовая система, потолкоуступная выемка крутопадающих жильных залежей и др.) для режима усиленного проветривания камер:

$$Q_{\text{к.ус}} = 2,3 \frac{W_{\text{к}}}{K_{\text{T}} \cdot t} \lg \frac{B}{B_0}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (67)$$

где:  $W_{\text{к}}$  – объем камеры,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – время проветривания, мин;

$B$  – допустимая вентиляционная нагрузка камеры,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$$B = \frac{\epsilon \cdot 100}{C_q}; \quad (68)$$

$\epsilon = 0,04$  – газовость ВВ,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$C_q = 0,008\%$  – допустимая концентрация газов ВВ перед выпуском людей (в пересчете на условный оксид углерода);

$B_0$  – начальная вентиляционная нагрузка камеры,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$$B_o = \frac{W_{\kappa}}{A}; \quad (69)$$

$A$  – количество взорванного в блоке ВВ, кг;

$K_T$  - коэффициент турбулентной диффузии газов.

Для плоских свободных струй при  $\frac{al_{\kappa}}{v_{\kappa}} \leq 0,51$

$$K_T = 0,32 \frac{al_{\kappa}}{v_n} \quad (70)$$

Для круглых свободных струй при  $\frac{al_{\kappa}}{\sqrt{S_n}} \leq 0,38$

$$K_T = 1,35 \frac{al_{\kappa}}{\sqrt{S_n}} \left( 1 - 1,12 \frac{al_{\kappa}}{\sqrt{S_n}} \right) \quad (71)$$

где:  $l_{\kappa}$ – длина камеры, м;

$v_{\kappa}$ – ширина выработки, подводящей в камеру воздух, м;

$S_n$ – поперечное сечение выработки, подводящей воздух, м<sup>2</sup>;

$a$  – коэффициент структуры свободной струи ( $a = 0,06-0,1$  для круглый струй;  $a = 0,1-0,15$  для плоских струй).

Если условия  $\frac{al_{\kappa}}{v_{\kappa}} \leq 0,51$  и  $\frac{al_{\kappa}}{\sqrt{S_n}} \leq 0,38$  не соблюдается, то  $K_T$  –

коэффициент турбулентной диффузии газов» определяется по таблицам 7 и 8.

### 8.Проветривание тупиковой камеры

Для тупиковой камеры

$$Q_{\min} = 0,21\sqrt{S}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (72)$$

где:  $S$  – сечение камеры, м<sup>2</sup>.

Для сквозной камеры

$$Q = 2,3 \frac{W_{\kappa}}{K_T \cdot t} \lg \frac{B}{B_o}, \text{ м}^3/\text{мин} \quad (73)$$

(условные обозначения приведены выше).

Таблица 7 Значение коэффициентов турбулентной диффузии круглой свободной струи  $K_T$ :

$\frac{a \cdot l_{\kappa}}{\sqrt{S_n}}$	$K_T$	$\frac{a \cdot l_{\kappa}}{\sqrt{S_n}}$	$K_T$	$\frac{a \cdot l_{\kappa}}{\sqrt{S_n}}$	$K_T$
0,017	0,019	0,067	0,084	0,196	0,209
0,017	0,023	0,069	0,088	0,224	0,229
0,019	0,026	0,073	0,091	0,252	0,247
0,022	0,030	0,075	0,094	0,280	0,262
0,025	0,033	0,078	0,097	0,308	0,276
0,028	0,037	0,081	0,100	0,336	0,287
0,030	0,040	0,084	0,103	0,376	0,300

0,034	0,044	0,086	0,106	0,420	0,335
0,036	0,047	0,090	0,110	0,554	0,395
0,39	0,051	0,092	0,113	0,605	0,460
0,041	0,054	0,095	0,116	0,750	0,529
0,045	0,058	0,097	0,119	0,945	0,600
0,047	0,061	0,101	0,122	1,240	0,672
0,050	0,065	0,103	0,125	1,680	0,744
0,053	0,68	0,106	0,127	2,420	0,810
0,056	0,071	0,108	0,130	3,750	0,873
0,058	0,075	0,112	0,133	6,660	0,925
0,62	0,078	0,140	0,161	15,100	0,965
0,064	0,081	0,168	0,186		

Таблица 8 Значение коэффициентов турбулентной диффузии плоской свободной струи  $K_T$ :

$\frac{a \cdot l_{\kappa}}{\sqrt{S_n}}$	$K_T$	$\frac{a \cdot l_{\kappa}}{\sqrt{S_n}}$	$K_T$	$\frac{a \cdot l_{\kappa}}{\sqrt{S_n}}$	$K_T$
0,025	0,008	0,130	0,042	0,420	0,136
0,030	0,010	0,140	0,045	0,450	0,144
0,035	0,011	0,150	0,048	0,470	0,152
0,040	0,013	0,170	0,056	0,500	0,160
0,045	0,015	0,200	0,064	0,600	0,192
0,050	0,016	0,220	0,072	0,700	0,244
0,060	0,019	0,250	0,080	0,760	0,250
0,070	0,022	0,270	0,088	1,040	0,318
0,080	0,026	0,300	0,096	1,480	0,400
0,090	0,029	0,320	0,104	2,280	0,496
0,100	0,032	0,350	0,112	4,000	0,604
0,110	0,035	0,370	0,120	8,900	0,726
0,120	0,038	0,400	0,128	35,250	0,860

Таблица вариантов заданий

№	$W_{\kappa}$	t	A	$l_{\kappa}$	S	$V_{\Pi}$	$S_{\Pi}$
1	450	30	600	15	30	3	7,5
2	750	30	600	25	30	3	7,5
3	525	30	650	15	35	3	7,5
4	700	30	650	20	35	3	7,5
5	660	60	700	19	40	3	7,5
6	800	60	700	20	40	3	7,5
7	900	60	800	20	45	4	8
8	1350	60	800	30	45	4	8
9	1500	120	900	30	50	4	9
10	2000	120	900	40	50	4	9

11	2400	120	1000	40	60	4	9
12	2700	60	1000	45	60	3,5	10
13	2925	60	1100	45	65	3,5	10
14	2900	60	1200	50	56	4	12
15	3500	120	2000	50	70	4	12
16	3850	120	2500	55	70	4	12

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ ГОРИЗОНТА ВЫПУСКА И ОТДЕЛЬНЫХ ЗОН

**Цель работы:** закрепление теоретических знаний по аэрологии горных предприятий и освоение методов расчёта расхода воздуха для вентиляции очистных выработок. На основании предлагаемых методик студент производит расчёты с соответствующими пояснениями по одному из вариантов заданий.

**Расход воздуха для режима усиленного проветривания горизонта выпуска**

$$Q = \frac{40,3}{t} \sqrt{A \cdot W_{\epsilon}}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (74)$$

где:  $W_{\epsilon}$  – суммарный объем загазованных выработок,  $\text{м}^3$ ;  
 $t$  – время проветривания (120-150 мин и 3-5 мин после взрыва одиночного заряда).

**Расход воздуха для режима нормального проветривания горизонта выпуска по условиям разжижения газов**

$$Q = \frac{40,3m}{t} \sqrt{A_y \cdot W_{\epsilon}}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (75)$$

где:  $m$  – число действующих выработок горизонта выпуска руды;  
 $A_y$  – условный заряд ВВ (кг);

$$A_y = A_1 + A_2,$$

где:  $A_1$  – фактический заряд ВВ, взорванный за один раз, кг;

$$A_2 = 2,7 \frac{P_c \cdot W_{CB} \cdot t}{v_p \cdot t_{\epsilon} \cdot \epsilon_a} \quad (76)$$

$A_2$  – условный заряд, соответствующий газовыделению из отбитой руды, кг;

$P_c$  – суточное количество руды, выпускаемой из дучек одной выработки, т;

$W_{CB}$  – свободный объем (объем пустот) в отбитой руде,  $\text{м}^3$ ;

$v$  – плотность разрыхленной руды,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

$t$  – время выпуска руды в течение суток, мин;

$\epsilon_a = 0,9$  – общее газовыделение 1 кг ВВ,  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

**Расход воздуха по условиям выноса мелкодисперсной пыли**

$$Q_n = 60 \sum_{i=1}^{i=m} S_i \cdot V_{\min}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (77)$$

где:  $m$  – число действующих выработок горизонта выпуска;

$S$  – сечение выработок выпуска,  $\text{м}^2$ ;

$V_{\min} = 0,3- 0,6$ – минимальная скорость струи воздуха,  $\text{м}/\text{с}$ .

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

**Цель работы:** закрепление теоретических знаний по аэрологии горных предприятий и освоение методов расчёта предварительных характеристик вентиляционной установки, и выбор его по рабочим характеристикам по каталогу. На основании предлагаемых методик студент производит расчёты с соответствующими пояснениями по одному из вариантов заданий.

Для упрощенного способа выбора вентилятора необходимо располагать данными об общерудничном количестве подаваемого воздуха  $Q_p$  и общерудничной депрессии  $h_p$ .

Последовательность расчета:

1. Находим эквивалентное отверстие рудника:

$$A = 0,38 \frac{Q_p}{\sqrt{h_p}}, \text{ м}^2, \quad (78)$$

2. Определяем ориентировочно диаметр колеса вентилятора:

$$D = \sqrt{\frac{A}{0,44}}, \text{ м} \quad (79)$$

3. По найденному диаметру колеса подсчитываем аэродинамическое сопротивление вентилятора:

$$R_s = a \frac{\pi}{D^4}, \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^8}, \quad (80)$$

где:  $a$  – коэффициент, значение которого изменяется от 0,04 до 0,1 в зависимости от типа вентилятора.

4. Учитывая подсосы с поверхности в вентиляционных сооружениях, дебит главного вентилятора  $Q_в$  должен быть увеличен. Ориентировочно его можно принять  $1,1 \cdot Q_p = Q_в$ .

5. Определяем внутренние потери давления в вентиляторе:

$$h_{вн} = R_s \cdot Q_в^2, \text{ кгс}/\text{м}^2. \quad (81)$$

6. Рассчитываем депрессию вентилятора:

$$h_с = h_p + h_{вн} \quad (82)$$

7. По найденным значениям  $Q_в$  и  $h_с$  по каталогам вентиляторов выбираем такой вентилятор, который удовлетворял бы следующим требованиям:

7.1. Точки  $h_{\text{вmax}} - Q_{\text{вmax}}$  и  $h_{\text{вmin}}$  и  $Q_{\text{вmax}}$ , определяющие границы возможных режимов работы вентилятора для рудника, должны находиться в области достаточно высоких КПД вентилятора. В некоторых случаях для удовлетворения этого требования приходится выбирать вентилятор большего диаметра, чем это необходимо для подачи заданного количества воздуха.

7.2. Вентилятор должен иметь резерв для увеличения в случае необходимости значений  $Q_{\text{в}}$  и  $h_{\text{в}}$  (в пределах 20%).

7.3. Вентилятор должен экономично работать в течение всего срока службы.

7.4. Что бы обеспечить устойчивую работу на правой (нисходящей) ветви характеристики для вентиляторов с «горбатыми» характеристиками необходимо, чтобы  $h_{\text{вmax}} \leq 0,9 h_{\text{г}}$ , где:  $h_{\text{г}}$  – депрессия «горба» характеристики.

8. При окончательном выборе вентилятора с учетом изложенных требований уточняется его диаметр.

9. Мощность двигателя вентилятора определяется по формуле:

$$N_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot h_{\text{в}}}{102 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{п}}}, \text{кВт}, \quad (83)$$

где:  $\eta$  – КПД вентилятора;

$\eta_{\text{д}}$  – КПД двигателя;

$\eta_{\text{п}}$  – КПД передачи от двигателя к вентилятору.

При депрессии вентилятора до 150 кгс/м<sup>2</sup> рекомендуются осевые вентиляторы, при депрессии 150-300 кгс/м<sup>2</sup> – осевые и центробежные, при депрессии выше 300 кгс/м<sup>2</sup> – центробежные.

При совместной работе нескольких вентиляторов предпочтение отдается центробежным вентиляторам, как обеспечивающим большую устойчивость совместной работы вентиляторов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Афанасьева Р.Ф. Вентиляция. Оборудование и технологии: Учеб.- практ. Пособие [Р.Ф.Афанасьева, Е.И.Константинов, М.С.Кузьмин]. -[М.]: Стройинформ, .-2007
- 2.Беляева Д.С.,Мячин В.В.,Стрелковская О.М.,Вишняков М.А. Расчёт количества воздуха для проветривания действующих горных предприятий. Издательство СибГИУ (Новокузнецк), 2010
- 3.БитколовН.З. Аэрология карьеров. / Н.З.Битколов, И.И.Медведев. М.: Недра, 1992.

- 4.Ведин А.Н. Аэрология горных предприятий. Издательство Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (Санкт-Петербург), 2002
- 5.Городничев А.П.Комплексное обеспыливание рудничной атмосферы :учеб. пособие по курсу "Безопасность жизнедеятельности" /СКГМИ (ГТУ). - Владикавказ: .-2006.
- 6.Городничев А.П.Учебное пособие по расчетам вентиляции рудников в дипломных проектах с использованием персональных компьютеров для студентов, обучающихся по спец. 130404.65 - "Подземная разработка месторождений полезных ископаемых" /СКГМИ (ГТУ). -Владикавказ: .-2010.
- 7.Ивановский И.Г. Аэрология :учеб.- метод. Комплекс /И.Г.Ивановский; Дальневост. гос. техн. ун-т (ДВПИ им.В.В.Куйбышева). -Владивосток: Изд-во ДВГТУ, .-2008
- 8.Каледина Н.О. Вентиляция производственных объектов: [Учеб. пособие для вузов. Рекомендовано МО РФ] /Н.О.Каледина. -М.: Изд-во МГГУ, .-2007.
- 9.Каменев П. Н. Вентиляция :учеб. для вузов /П.Н.Каменев, Е.И.Тертичник; М-во образования Рос. Федерации. -М.: АСВ, .-2008
- 8.Мартьянов В.Л. Аэрология карьеров. Издательство: ФГБОУ ВПО Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2012г.
- 10.Ушаков К.З. Аэрология горных предприятий. / Под ред. К.З.Ушакова. М.: Недра, 1987.
- 11.Ушаков К.З. Рудничная вентиляция. Справочник. / Под ред. К.З.Ушакова. М.: Недра, 1988.

Выпущено в авторской редакции, пунктуации и орфографии  
Компьютерная верстка: Джиева А.К.

Для создания электронного издания использованы:  
Microsoft Office Word 2007, Adobe Acrobat 3.3.2

---

Подписано к использованию: \_\_\_\_\_

Объем 5,9МБ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Северо–Кавказский горно–металлургический институт (государственный  
технологический университет).  
36021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Кафедра «Горное дело»