

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## РУДНИЧНАЯ АЭРОЛОГИЯ

### КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для студентов специальности 7.050107 «Экономика предприятия»

специализации – «Экономика добывающей промышленности» - (ЭГП)

Рекомендовано  
на заседании кафедры  
охраны труда и аэрологии.  
Протокол № от . .2007 г.

Утверждено  
на заседании учебно-  
издательского совета ДонНТУ.  
Протокол № от . .2007 г.

Донецк ДонНТУ 2007

Почтаренко Н.С., Николаев Е.Б. Рудничная аэрология: конспект лекций для студентов специальности 7.050107 «Экономика предприятия» специализации – «Экономика добывающей промышленности» - (ЭГП). – Донецк: ДонНТУ, 2007. – 48 с.

Рассмотрены состав, главные составные части, ядовитые и взрывчатые примеси шахтного воздуха, основные законы движения воздушного потока, вентиляционные сети шахт, регулирование распределения воздуха в сети горных выработок, работа вентиляторов на шахтную сеть, утечки воздуха в вентиляционных сетях. Описаны способы и средства проветривания очистных и подготовительных выработок, организация контроля проветривания и пылевентиляционной службы шахт. Изложены основы проектирования вентиляции шахт. Приведен список рекомендуемой литературы.

Составители

Н.С. Почтаренко, к.т.н., проф.  
Е.Б. Николаев, к.т.н., доц.

Рецензент

Ю.Ф. Булгаков, д.т.н., проф.

## ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

АКВ – автоматический контроль расхода воздуха  
АКМ – автоматический контроль метана  
ВВ – взрывчатые вещества  
ВМ – взрывчатые материалы  
ВМП – вентилятор местного проветривания  
ВНУ – вакуум-насосная установка  
ВР – взрывные работы  
ВТБ – вентиляция и техника безопасности  
ГХ – газоанализатор химический  
ИОВ – источники образования или выделения  
КПД – коэффициент полезного действия  
КПШ – кондиционер передвижной шахтный  
КС – контроль содержания  
ЛА – лабораторный анализ  
МакНИИ – Государственный Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности  
НПВ – нижний предел взрывчатости  
ПАВ – поверхностно-активные вещества  
ПБ – Правила безопасности в угольных шахтах  
ПДС – предельно допустимое содержание Правилами безопасности  
РВ – рудничное взрывобезопасное – уровень взрывозащиты  
РО - рудничное особовзрывобезопасное – уровень взрывозащиты  
РП - рудничное повышенной надёжности – уровень взрывозащиты  
СОС – смертельно опасное содержание  
ШГС – шахтная горноспасательная служба  
ШИ – шахтный интерферометр  
ЭВМ – электронные вычислительные машины  
 $\alpha$  – абсолютная влажность, коэффициент аэродинамического сопротивления выработок  
А – добыча полезного ископаемого  
 $A_3$  – зольность угля  
 $A_{\max}$  – максимально допустимая по газовому фактору нагрузка на очистной забой  
С – допустимое содержание метана в исходящем вентиляционном потоке  
 $C_i$  – содержание газа  
 $C_0$  – содержание метана в поступающем потоке воздуха  
d – относительная плотность газа  
F – фактор кататермометра  
 $F_{\max}$  – наибольшая сила взрыва  
g – ускорение свободного падения  
 $\Gamma_{ст}$  – геотермическая ступень  
h – депрессия  
 $h_v$  – депрессия вентилятора  
 $h_o$  – глубина зоны постоянной температуры пород  
Н – глубина, разность высотных отметок  
I – абсолютная газообильность  
 $I_{оч}$  – абсолютное газовыделение из очистной выработки  
 $I_{уч}$  – абсолютное газовыделение из выемочного участка  
 $K_{дег}$  – коэффициент эффективности дегазации источника газовыделения  
 $l_{оч}$  – длина очистного забоя  
Р – давление  
 $P_{разв}$  – давление воздуха, развиваемое при взрыве метана или угольной пыли  
 $P^H$  – давление насыщения  
q – относительная газообильность

Q – расход воздуха  
R – аэродинамическое сопротивление  
S – площадь поперечного сечения выработки в свету  
 $t_{\text{воспл}}$  – температура воспламенения  
 $t_{\text{п}}$  – температура пород  
 $t_{\text{разв}}$  – температура, развиваемая при взрыве метана или угольной пыли  
V – скорость движения воздуха  
W – пластовая влажность угля  
 $W_v$  – метаноёмкость  
X – природная метаноносность  
 $\rho$  – плотность воздуха  
 $\sigma$  – геотермический градиент  
 $\tau$  – время  
 $\varphi$  – относительная влажность

## ВВЕДЕНИЕ

Рост добычи угля из забоев, оснащение их высокопроизводительной техникой и получение на базе этого эффективных технико-экономических показателей работы шахт сдерживают увеличивающиеся с глубиной разработки газообильность и температура горных пород. Поэтому решение вопросов проветривания выемочных участков и шахт в целом, борьбы с газовыделением и высокой температурой воздушного потока становится определяющим фактором при выборе рациональной технологии добычи ископаемого, способной обеспечить высокие нагрузки на очистные забои. Экономическую и организационно-управленческую деятельность в горной промышленности практически невозможно осуществлять без знания вопросов рудничной аэрологии, так как вентиляция на данном этапе развития угольной промышленности в основном определяет как объём, так и экономические показатели добычи полезного ископаемого.

Целью изучения дисциплины «Рудничная аэрология» является усвоение теоретических основ и практических способов и средств обеспечения здоровых и безопасных атмосферных условий в горных выработках шахт, формирование умения использовать приобретенные знания для решений профессиональных задач, ознакомление с применяемыми на шахтах приборами контроля состава шахтной атмосферы и основных параметров её физического состояния.

Курс «Рудничная аэрология» состоит из трех частей: шахтная атмосфера, шахтная аэромеханика и вентиляция шахт. В разделе «Шахтная атмосфера» изложен материал о главных составных частях, ядовитых и взрывчатых примесях шахтного воздуха; метане, его свойствах и мерах борьбы с ним; шахтной пыли и тепловом режиме шахт.

Раздел «Шахтная аэромеханика» знакомит с основными законами аэростатики и аэродинамики, аэродинамическим сопротивлением горных выработок; вентиляционными сетями и регулированием распределения воздуха в сети горных выработок; естественной тягой воздуха в шахтах, работой вентиляторов на сеть и утечками воздуха в шахтных вентиляционных сетях.

Раздел «Вентиляция шахт» посвящён изложению вопросов проветривания очистных и подготовительных выработок, вентиляционных сооружений и устройств, видов контроля проветривания шахт, пылевентиляционной службы горных предприятий и основ проектирования вентиляции шахт.

Только для дыхания людей мы должны подавать в шахту не менее 6 м<sup>3</sup>/мин на одного человека. Для проветривания шахты расходуется в среднем около 40% всей потребляемой предприятием энергии. Средний расход воздуха для шахт Донбасса составляет около 9000 м<sup>3</sup>/мин. На 1 тону добываемого угля мы выдаём в среднем 8 т воздуха.

Основоположником науки о проветривании шахт является М.В.Ломоносов, который в 1742 г представил трактат «О вольном движении воздуха в рудниках примеченном». До наших дней мы пользуемся впервые предложенными М.В.Ломоносовым словами: атмосфера, барометр, вязкость, материя, манометр, оптика, электрический, эфир и другими. В 1888 г

Д.И.Менделеев исследовал состав газов на одной из шахт г. Макеевки. Много было сделано для нормализации атмосферных условий А.А.Скочинским и его учениками. Большой вклад в развитие рудничной аэрологии внесли А.А.Саблуков, Н.Д.Коцовский, М.М.Протодияконов, В.Б.Комаров, В.Н.Воронин, Ф.А.Абрамов, И.М.Печук, П.И.Мустель, А.Н.Щербань, Б.И.Медведев, А.Ф.Воропаев.

## І ШАХТНАЯ АТМОСФЕРА

### 1 ГЛАВНЫЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ, ЯДОВИТЫЕ И ВЗРЫВЧАТЫЕ ПРИМЕСИ ШАХТНОГО ВОЗДУХА

#### 1.1 Шахтный воздух. Состав атмосферного воздуха

*Атмосфера* – это газовая оболочка, окружающая Землю и участвующая в её суточном вращении. В сутки человек потребляет воздуха в среднем 25 кг, тогда как пищи всего лишь 2-3 кг. *Шахтный воздух* представляет собой смесь атмосферного воздуха и газов, образующихся и выделяющихся в шахте, заполняющая горные выработки. Он состоит из атмосферного воздуха, активных газов и так называемого «мёртвого» воздуха. Содержание газов в шахтном воздухе выражается, как правило, в объёмных единицах – это отношение объёма данного газа ко всему объёму газозадушной смеси, выражается в процентах или в долях единицы. Состав атмосферного воздуха (%) на уровне моря: азот  $N_2$  – 78,08; кислород  $O_2$  – 20,95; аргон  $Ar$  – 0,93; диоксид углерода  $CO_2$  (углекислый газ) – 0,03 и другие газы (водород  $H_2$ , гелий  $He$ , криптон  $Kr$ , ксенон  $Xe$ , метан  $CH_4$ , неон  $Ne$ ) – 0,01. Объёмные доли основных газов атмосферы мало изменяются до высоты около 100 км. Проходя по сети горных выработок атмосферный воздух претерпевает значительные изменения: уменьшается содержание кислорода за счёт окисления полезного ископаемого, пород, органических веществ, выделения из угля и пород и образования в шахтах целого ряда газов.

*Свежий поток воздуха* – поступающий с поверхности в горные выработки (очистные и подготовительные забои, камеры, отдельные выработки); на вентиляционных схемах и планах изображается красной стрелкой. *Отработанный поток воздуха* – исходящий после омывания выработок (забоев, участков, крыльев шахтного поля, шахты) на поверхность; изображается на схемах и планах стрелкой синего цвета. Выработки, по которым подаётся свежий воздух, называются воздухоподающими, по которым удаляется отработанный воздух – вентиляционными.

*Активные газы* – это ядовитые и взрывчатые газы. К ним в основном относятся: оксид углерода  $CO$ , диоксид углерода  $CO_2$ , сероводород  $H_2S$ , диоксид серы  $SO_2$ , оксиды азота  $N_nO_n$ , водород  $H_2$ , метан  $CH_4$ .

*Мёртвый воздух* представляет собой обескислороженную часть шахтного воздуха, состоящую из азота  $N_2$  и углекислого газа  $CO_2$  в избыточном количестве по отношению к содержанию в атмосферном воздухе.

Знакомясь со свойствами газов шахтной атмосферы необходимо усвоить: цвет, запах, вкус, относительную плотность, растворимость в воде, физическую сущность ядовитости, требования Правил безопасности (ПБ): предельно допустимое содержание (ПДС), смертельно опасное содержание (СОС), источники образования или выделения (ИОВ), контроль содержания (КС). *Относительная плотность газа* ( $d$ ) численно равна отношению молекулярной массы газа к молекулярной массе воздуха.

*Кислород*  $O_2$  – газ без цвета, запаха и вкуса;  $d = 1,11$ . Растения Земли продуцируют его 10%, а 90% – океан. Плохо растворим в воде (3,1%). По ПБ содержание кислорода в воздухе выработок, в которых находятся или могут находиться люди, должно составлять не менее 20% (по объёму). СОС = 12%. Причины снижения содержания кислорода: дыхание людей, окислительные процессы, выделение и образование других газов, поглощение углем. Когда человек дышит через нос, то в организм поступает кислорода на 25% больше. В выдыхаемом воздухе содержится 16,5%  $O_2$  и 4,5%  $CO_2$ . КС – лабораторный анализ (ЛА), газоопределитель химический (ГХ), шахтный интерферометр ШИ-6.

*Азот*  $N_2$  - газ без цвета, запаха и вкуса;  $d = 0,97$ . Плохо растворим в воде (1,5%). Необходим для жизнедеятельности человеческого организма. ПБ не нормирует содержание его в шахтном воздухе. Проявляет наркотическое действие (опьянение) при погружении в воду на глубину более 50-60 м. Является причиной кесонной болезни при быстром переходе из среды с повышенным атмосферным давлением в нормальную (декомпрессии). ИОВ – из полезного ископаемого, пород, взрывные работы (ВР), пожары. КС – ЛА.

*Диоксид углерода*  $CO_2$  (углекислый газ) – без цвета, с кисловатым вкусом и запахом;  $d = 1,52$ . Атмосферу Венеры и Марса в основном составляет углекислый газ. Он хорошо растворим в воде. Растворимость его при  $20^\circ C$  составляет 88% по объёму. При содержании до 3% и кратковременном вдыхании он возбуждает дыхательные центры, при 3% - частота дыхания удваивается, 5% - утраивается, 10% - наступает потеря сознания. В больших и опасных для жизни количествах углекислый газ может скапливаться в наклонных и вертикальных выработках у почвы при малой скорости движения воздуха. СОС = 20-25%. Первая помощь: вынести на свежий поток воздуха и провести искусственное дыхание. ПДС: 0,5% - на рабочих местах и в исходящих потоках выемочных участков и тупиковых выработок; 0,75% - в выработках с исходящим потоком крыла, горизонта и шахты в целом; 1,0% - при проведении и восстановлении выработок по завалу. ИОВ – из полезного ископаемого, пород, минеральных источников, окислительные процессы органических веществ, ВР, взрывы метана и угольной пыли. КС – ЛА, ГХ, ШИ. На некоторых шахтах наряду с обычным выделением углекислого газа наблюдается суфлярное и внезапное его выделение. Различают абсолютную и относительную углекислотообильность. *Абсолютная углекислотообильность* – физическая величина, показывающая количество углекислого газа, которое выделяется в единицу времени ( $m^3/сут$ ,  $m^3/мин$ ,  $m^3/с$ ). *Относительная углекислотообильность* – величина, показывающая количество газа, которое выделяется за определённое время и отнесено к единице массы или объёма полезного ископаемого, добытого за этот период ( $m^3/т$  или  $m^3/m^3$ ).

## 1.2 Главные ядовитые и взрывчатые примеси шахтного воздуха

*Оксид углерода* (угарный газ)  $CO$  – газ без цвета, запаха и вкуса;  $d = 0,97$ . Плохо растворим в воде (2,3%). Взрывается при содержании в атмосфере 12,5-75%. Температура воспламенения газа  $t_{воспл} = 630 - 810^\circ C$ . Газ ядовит. Физическая сущность ядовитости: оксид углерода соединяется с гемоглобином крови в 250 – 300 раз быстрее кислорода. Для полного насыщения крови достаточно  $300\text{ см}^3$  угарного газа. Реакция соединения газа с кровью обратима при нормальных условиях. Поэтому, при поражении оксидом углерода следует вынести человека на свежий поток воздуха и сделать искусственное дыхание. Организм человека защищается от угарного газа с помощью выдаваемого шахтёрам самоспасателя, который должен быть постоянно рядом с человеком в шахте. СОС = 0,4%. Оксид углерода является наиболее частой причиной отравления и гибели шахтёров. Так в результате взрывов метана и угольной пыли иногда погибает до 70% застигнутых взрывом людей. ПДС = 0,00170%. ИОВ – пожары, ВР, взрывы метана и угольной пыли. КС – ЛА, ГХ.

*Сероводород*  $H_2S$  - газ без цвета со сладковатым вкусом и с запахом тухлых яиц;  $d = 1,19$ . Хорошо растворим в воде. В одном объёме воды растворяется 4,4 объёма сероводорода. Взрывается при содержании в атмосфере 4 - 44%.  $t_{воспл} = 290^\circ C$ . Газ ядовит. Он подобен действию на организм угарного газа, но ещё в 4 раза быстрее соединяется с гемоглобином крови человека, чем оксид углерода. Ощутим по запаху при содержании в атмосфере 0,0001%. СОС = 0,1%; ПДС = 0,00071%. Первая помощь при отравлении  $H_2S$  – искусственное дыхание на свежем потоке воздуха. ИОВ – из полезного ископаемого, пород, минеральных источников, гниение органических веществ, разложение колчедана и гипса, ВР, старые выработанные пространства. КС – ЛА, ГХ.

*Диоксид серы* (сернистый ангидрид, сернистый газ, «глазоедка»)  $SO_2$  – газ без цвета с резким запахом и вкусом.  $d = 2,2$ . Очень хорошо растворим в воде. В одном объёме воды растворяется 80 объёмов диоксида серы. Газ ядовит, так как при попадании на слизистые оболочки глаз, бронхов и лёгких образуется серная кислота. До сих пор стоит на вооружении полиции целого ряда стран. Ощутим по запаху при содержании в атмосфере 0,0005%. СОС =

0,05%. Меры первой помощи при отравлении  $\text{SO}_2$ : свежий воздух, промывание глаз и носа чистой водой. ПДС = 0,00038%. ИОВ – из полезного ископаемого, пород, минеральных источников, ВР, пожары. КС – ЛА, ГХ.

*Газы разложения взрывчатых веществ.* К ним относятся:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_n\text{O}_n$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ . В состав оксидов азота ( $\text{N}_n\text{O}_n$ ) входят:  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Оксид азота  $\text{NO}$  доокисляется в  $\text{NO}_2$  при нормальных условиях. Количество оксидов  $\text{N}_2\text{O}_3$  и  $\text{N}_2\text{O}_4$  ничтожно мало. Поэтому рассмотрим свойства *диоксида азота*  $\text{NO}_2$ . Это газ тёмно-бурого цвета с резким запахом и вкусом.  $d = 1,58$ . Хорошо растворим в воде. Весьма ядовит так как при попадании на слизистые оболочки бронхов и лёгких преобразуется в азотную кислоту. Газ в народе называют «подлым», потому что смерть наступает через 4 – 6 ч, а иногда через 20 – 30 ч после отравления. СОС = 0,025%. Первая помощь: свежий воздух, тепло. ПДС = 0,00010%, для оксидов азота в пересчёте на  $\text{NO}_2$  ПДС = 0,00025%. КС – ЛА, ГХ.

*Водород*  $\text{H}_2$  - газ без цвета, запаха и вкуса;  $d = 0,07$ . Это основной компонент межзвёздного газа – 76%. Входил в состав первичной атмосферы Земли ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ). Образуется в основном в зарядных камерах при зарядке аккумуляторных батарей электровозов. Плохо растворим в воде (1,8%). Горит и взрывается при содержании 4 – 74%;  $t_{\text{воспл.}} = 550$  °С. ПДС = 0,5%. КС – ЛА.

При несоответствии состава воздуха в выработках шахт указанным выше нормам ПБ работы должны быть остановлены и люди выведены на свежий поток воздуха. Одновременно должны быть приняты меры к улучшению качества воздуха.

*Компрессорные газы* ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) образуются в результате возгонки масел, т. е. разложения их под воздействием высокой температуры и давления. Достаточно разложения 20 г органического масла в таких условиях и в 1 м<sup>3</sup> воздуха образуется взрывчатая смесь. Меры борьбы с компрессорными газами: следить за исправностью системы охлаждения компрессоров; применять специальные масла с высокой температурой разложения; обходиться минимальным количеством масла; периодически чистить воздухооборник.

## 2 МЕТАН, ЕГО СВОЙСТВА И МЕРЫ БОРЬБЫ С НИМ

### 2.1 Физико-химические свойства метана

*Метан*  $\text{CH}_4$  - газ без цвета, запаха и вкуса;  $d = 0,554$ , т. е. легче воздуха примерно в 2 раза. Плохо растворим в воде (3,5%). При обычных условиях и допустимом ПБ содержании никакого вредного воздействия на человека не производит. Он вреден лишь постольку, поскольку при его выделении уменьшается объёмная доля кислорода. Чтобы снизить содержание  $\text{O}_2$  с 20,95% до смертельно опасного - 12% необходимо добавить 43%  $\text{CH}_4$ , а для снижения с 20,95%  $\text{O}_2$  до 20% должно выделиться 4,8%  $\text{CH}_4$ , что недопустимо ПБ. Содержание кислорода в выработках, в которых могут находиться люди, по ПБ должно составлять не менее 20%, а вот метана даже при местном скоплении в очистных, тупиковых и других выработках недопустимо содержание 2%. Газ горюч  $t_{\text{воспл.}} = 650 - 750$  °С – это зависит от процентного содержания  $\text{CH}_4$  и вида источника воспламенения. Он обладает большой удельной теплотой сгорания, так при сгорании 1 кг  $\text{CH}_4$  выделяется 50 МДж теплоты, а при сжигании 1 кг пороха всего 2,4 МДж. С воздухом  $\text{CH}_4$  образует горючие и взрывчатые смеси. При содержании до 5 – 6%  $\text{CH}_4$  горит, от 5 – 6% до 14 – 16% - взрывается, свыше 14 – 16% - не горит и не взрывается. Максимальная сила взрыва ( $F_{\text{max}}$ ) метана наблюдается при содержании 9,5%. Дискретность взрывчатых свойств  $\text{CH}_4$  объясняется его большой удельной теплоёмкостью, т. е. большим количеством теплоты, которое необходимо подвести к нему, чтобы нагреть на 1 градус. Удельная теплоёмкость  $\text{CH}_4$  составляет 2,48 кДж/кг·К, а воздуха – 1 кДж/кг·К. Поэтому, при содержании  $\text{CH}_4$  более 14 – 16% не достаёт теплоты для того, чтобы довести все его молекулы до температуры воспламенения и  $\text{CH}_4$  сам себя гасит. Характерно для  $\text{CH}_4$  взрывание смеси с некоторым замедлением после соприкосновения с источником воспламенения. Так, при температуре источника: 650°С взрыв происходит через 10 с; 750°С – через 1 с; 1000°С – через 0,1 с; 1200 °С – через 0,02 с. Обнаружив это свойство, учёные воспользовались им и создали

предохранительные взрывчатые вещества (ВВ), которые имеют небольшую температуру горения и большую скорость сгорания.

Взрывы метана с участием угольной пыли уносят в среднем на Земном шаре 1750 человек в год. На Украине - примерно 400 человек. В 1908 г на шахте № 4 бис Макарьевского рудника Рыковских копей (Донбасс) погибло при взрыве  $\text{CH}_4$  270 человек. Крупнейшая в мире катастрофа произошла в 1942 г на шахте «Хонкейко», где в результате взрыва  $\text{CH}_4$  погибло 1527 человек. При взрыве метана наблюдается высокая температура  $t_{\text{разв.}} = 1850 - 2650$  °С. Скорость распространения взрыва достигает 500 – 700 м/с. Давление воздуха ( $P_{\text{разв}}$ ) в первоначальном месте взрыва превышает нормальное в 9 раз. При повторных взрывах давление воздуха может превышать начальное в несколько десятков раз. Наблюдается прямое и обратное движение взрывной волны. Прямое движение волны объясняется высокими значениями температуры и давления смеси в месте взрыва. Обратное движение взрывной волны вызывается падением давления в месте взрыва за счёт охлаждения и конденсации паров воды на стенках выработок



Если содержание  $\text{CH}_4$  до взрыва составляет более 9,5%, то наблюдается прямое и обратное распространение пламени. При содержании  $\text{CH}_4 < 9,5\%$  или при более 9,5%, но в присутствии угольной пыли, реакция взрыва идёт с образованием СО



Угольная пыль всегда есть в шахте, поэтому люди гибнут при взрыве метана в основном от отравления угарным газом. Вот почему самоспасатель всегда должен быть рядом.

Впервые  $\text{CH}_4$  начал взрываться в угольных коях от горящего фитиля масляных осветительных ламп. По заказу шахтовладельцев в 1815 г Гемфри Дэви изобрёл шахтную предохранительную лампу, которая до сих пор применяется на шахтах I и II категорий по газу для контроля состава воздуха.

## 2.2 Происхождение метана и формы сохранения его в угле

Атмосфера Сатурна и Юпитера состоит в основном из метана. Метан на Земном шаре, как утверждают учёные, образовался в результате углефикации растительных остатков, т. е. при гниении, точнее окислении, органических веществ без доступа кислорода извне, за счёт содержащегося в них окислителя. При углефикации образуется кроме  $\text{CH}_4$  ещё углекислый газ  $\text{CO}_2$  и летучие органические кислоты. Продукты разложения клетчатки:



Общее количество газов достигает 1000 м<sup>3</sup>/т растительных остатков. Первоначально эти газы выделялись в атмосферу. Это мы наблюдаем и сейчас, и летом, и зимой в камышах на берегу рек и водоёмов. Реакция разложения клетчатки идёт с преимущественным образованием  $\text{CH}_4$  при участии угольных бактерий и бацилл. Метан содержится не только в угольных месторождениях. Он встречается при разработке каменной соли, руд калия, железа, свинца, золота, даже в глинобитнях.

В угольных месторождениях  $\text{CH}_4$  находится в свободном и сорбированном (связанном) состоянии. Уголь весьма пористое вещество. Площадь поверхности пор составляет до 200 м<sup>2</sup>/г угля, хотя объём пор достигает лишь 14%. Уголь обладает большой сорбционной способностью. При нормальном давлении измельчённым углем, помещённым в сосуд, поглощается в 3 раза больше  $\text{CH}_4$  по объёму чем объём угля в сосуде. Внутри пор газ находится в свободном состоянии – это, так называемый, свободный газ. У поверхности пор  $\text{CH}_4$  содержится в уплотнённом, как бы сгущённом состоянии благодаря действию молекулярных сил притяжения – это адсорбированный газ. Между свободным и адсорбированным  $\text{CH}_4$  существует подвижное равновесие. Проникший в массу угля и образующий как бы твёрдый раствор, т. е. поглощённый всем объёмом  $\text{CH}_4$ , называют



абсорбированным газом. Вступивший в химическую реакцию  $\text{CH}_4$  именуется хемосорбированным газом. В настоящее время содержится  $\text{CH}_4$  до  $40 \text{ м}^3$  в тонне угля.

Содержание метана в свободном и сорбированном состоянии характеризуется *метаноносностью* ( $X$ ) - это физическая величина, показывающая содержание  $\text{CH}_4$  в единице (1) массы или в единице (1) объёма полезного ископаемого или пород. Единица физической величины метаноносности  $[X] = \text{м}^3/\text{т}$  или  $\text{м}^3/\text{м}^3$ . Синонимом метаноносности является газоносность, как более общее понятие, касающееся любого газа. Наиболее газоносны угли антрациты с выходом летучих  $V^{\text{daf}} = 3 - 5\%$  и коксовые угли с  $V^{\text{daf}} = 18 - 26\%$ , наименее газоносны угли с  $V^{\text{daf}} = 35 - 50\%$  (марки углей газовые и длиннопламенные). В общем случае газоносность зависит: от химического состава, пористости, газопроницаемости, глубины залегания, угла падения, влажности и зольности угля, степени метаморфизма. Газоносность определяется геологами при разведочном бурении скважин по извлекаемым кернам угля и пород.

*Метаноёмкость* ( $W_v$ ) – величина характеризующая способность угля удерживать в себе газ в свободном и сорбированном состоянии, т. е. возможность поглощения газа 1 массы или 1 объёма полезного ископаемого или пород при определённых условиях, т. е. при определённых температуре ( $t$ ) и давлении ( $P$ ). Синонимами метаноёмкости являются газоёмкость и сорбционная способность угля и пород. Единицы метаноёмкости  $[W_v] = \text{м}^3/\text{т}$  или  $\text{м}^3/\text{м}^3$ . Зависимость сорбционной способности от давления газа в угле или породе при  $t = \text{const}$  называется *изотермой сорбции*. Она имеет вид параболы.

Из графика видно, что каждому значению давления соответствует определённое значение сорбционной способности и чем больше давление, тем больше газоёмкость. Однако при некотором значении  $P^H$  наступает полное насыщение газом и дальнейшее увеличение давления не приводит к увеличению метаноёмкости. Строят изотерму сорбции экспериментально: заполнив сосуд углем, помещают его в термостат и порционно подают  $\text{CH}_4$ , увеличивая давление до полного насыщения, а затем сбрасывая давление, постоянно фиксируют давление и соответствующее ему количество газа. С увеличением температуры уменьшается метаноёмкость, так как с ростом температуры увеличивается подвижность молекул газа. Чем меньше выход летучих веществ тем больше сорбционная способность угля, больше свободных от газа пор, т. е. как бы увеличивается пористость угля.

### 2.3 Виды выделения метана в шахтах

Источниками метановыделения являются: разрушаемый вследствие выемки уголь в очистных и подготовительных забоях; обнажённые поверхности угля в лаве и пластовых подготовительных выработках; транспортируемый по выработкам уголь; выработанное пространство, в которое газ поступает из пластов-спутников, залегающих выше и ниже разрабатываемого пласта и находящихся в зоне разгрузки, из разгруженных и обрушенных пустых пород, из целиков, оставляемый в выработанном пространстве и не вынимаемых пачек угля.

Различают обыкновенное, суфлярное и внезапное выделение метана. *Обыкновенное газовыделение* представляет собой поступление метана из невидимых на глаз трещин и пор в полезном ископаемом и породах. Это непрерывное, бесшумное выделение со всех обнажённых поверхностей полезного ископаемого и пород. Выделение  $\text{CH}_4$  происходит в силу того, что газ в массиве находится под давлением превышающем атмосферное в 70 – 100 раз. Самая большая интенсивность газовыделения происходит в начальный момент обнажения пласта и пород, а затем она постепенно затухает во времени. Период истечения газовыделений (дренирование газа) из угольного массива после его обнажения для пластов тонких и средней мощности составляет 6 – 12 месяцев. Изменению газоносности подвергается угольный пласт на расстояние до 5 – 18 м от плоскости обнажения его (ширина зоны газового дренирования). Обыкновенное газовыделение зависит от интенсивности выемки угля, поэтому необходим непрерывный контроль содержания  $\text{CH}_4$ . Если содержание метана у врубовых машин и комбайнов достигает 2%, необходимо остановить их и снять напряжение с питающего кабеля.

Возобновление работы машин допускается после снижения содержания метана до 1%. При обыкновенном газовыделении поступает больше всего  $\text{CH}_4$ .

*Суфлярное газовыделение* – это сосредоточенное, местное выделение  $\text{CH}_4$  из, как правило, видимых на глаз трещин в полезном ископаемом и породах, выделение газовыми фонтанами. Оно сопровождается шипением, а если имеется к тому же вода, клокотанием. Трещина, из которой выделяется газ называется *суфляром*. Действуют суфляры от нескольких минут до нескольких лет и производят от нескольких сотен до десятков и сотен миллионов  $\text{м}^3$   $\text{CH}_4$ . Суфляры зачастую приурочены к эксплуатационным трещинам или геологическим нарушениям. Известен гигантский суфляр, происшедший при проходке ствола в Англии на шахте «Гаарвуд». Зажжённый газ горел на протяжении 10 лет, а пламя было видно в радиусе 15 км. В Донбассе суфляры встречаются нередко. Так на шахте «Центрально-Заводская» при вскрытии Уразовских пластов встретились с двумя суфлярами, которые были каптированы посредством кирпичных камер. Газ был отведен по трубам на поверхность. В первые дни расход  $\text{CH}_4$  составлял до 20000  $\text{м}^3$  /сутки. Через 500 дней – 8000  $\text{м}^3$  /сутки. Всего выделилось около 6 млн.  $\text{м}^3$   $\text{CH}_4$ . Суфляры весьма опасны неожиданностью, большим расходом метана. Они могут создать взрывоопасную атмосферу или явиться причиной удушья. Основные меры борьбы с суфлярами, точнее меры по их предупреждению и нейтрализации: бурение опережающих дренажных скважин, тампонаж (пробка, затычка), каптаж (ловля) – изоляция источника газовыделения.

*Внезапное выделение метана* – это природное явление, при котором в течении короткого промежутка времени выбрасывается определённое количество газа и полезного ископаемого или пород. Это явление называется ещё внезапным выбросом угля и газа. Первый внезапный выброс был зарегистрирован в 1834 г на шахте «Исаак» (Франция). На Украине первый выброс произошёл на шахте «Новая Смолянка» в 1906 г. Было выброшено несколько десятков тонн угля. Первый внезапный выброс породы случился на шахте «Кочегарка» в 1955 г. Самый крупный в мире выброс угля и газа произошёл в 1968 г на шахте имени Гагарина (Горловка) при вскрытии пласта «Мазурка». Было выброшено 14000 т угля и около 600000  $\text{м}^3$  метана. Жертв не было, так как это случилось во время ведения работ по предупреждению внезапных выбросов (сотрясательном взрывании).

На сегодняшний день *о внезапных выбросах известно*: начинаются выбросы с глубины 250 – 300 м; подавляющее большинство из них происходит на пластах мощностью 0,5 – 2,5 м; вмещающие породы редко представлены известняками (плавный прогиб); мокрые пласты не подвержены выбросам; происходят на пластах, представленных углем марок ПЖ, К, ОС, Т, реже А, Г, Д; газоносность углей составляет 10 – 30  $\text{м}^3$ /т; приурочены часто к геологическим нарушениям; иногда изменяется мощность пласта; в процессе внезапного выброса образуются грушеобразные или каверновидные полости объёмом до нескольких тысяч  $\text{м}^3$ ; между полостью и плоскостью забоя иногда остаётся целик шириной 2 – 4 м.

*Предупредительные признаки* внезапных выбросов: повышение акустической или сейсмоакустической активности массива: гул, треск, удары; шелушение забоя, т. е. отскакивание частичек угля от забоя; увеличение интенсивности начального газовыделения и выхода штыба при бурении шпуров; деление выбуренных породных кернов на диски выпукловогнутой формы; задержка отжима пласта и сдвижения пород впереди забоя; уголь становится мягче, грудь забоя прохладной, цвет угля матовым.

Природа внезапных выбросов всё ещё не выяснена. Имеется ряд гипотез. Известны *побуждающие факторы* к внезапным выбросам: горное давление, т. е. напряжённо-деформационное состояние массива; энергия, заключённого в угле газа (насыщенность угля газом); физико-химические и физико-механические свойства массива полезного ископаемого и пород (особая структура угля); начальный импульс, который дают горные работы.

*Меры борьбы с внезапными выбросами* угля и газа. Наиболее эффективна предварительная разработка защитных пластов, что вызывает разгрузку массива и увеличение степени газопроницаемости. Защитный пласт – это один из свиты пластов, выемка которого осуществляется с опережением по отношению к выбросоопасному, что приводит к разгрузке массива. В Донбассе 60% выбросоопасных пластов защищены опережающей разработкой других пластов. Если нет возможности предварительно разработать защитный пласт, то

применяют региональные (заблаговременные) или локальные (местные) меры борьбы с внезапными выбросами. К *региональным мерам* относится дегазация пласта, т. е. процесс улавливания и удаления газа из разрабатываемого пласта, и длительное нагнетание воды в угольный пласт с поверхностно-активными веществами (ПАВ). *Локальными мерами борьбы* с внезапными выбросами являются: сотрясательное взрывание, торпедирование угольного массива, комфлетное взрывание, гидроотжим пласта, гидрорыхление, выемка полостей в угле и породе, применение столбовой системы разработки, узкозахватных комбайнов, полное обрушение или полная закладка выработанного пространства.

*Газообильность* – физическая величина, характеризующая интенсивность выделения газа из полезного ископаемого и пород. Различают абсолютную и относительную газообильность. *Абсолютная* газообильность (I) – величина, характеризующая газовыделение в единицу времени. Единицы абсолютной газообильности: [I] = м<sup>3</sup>/сут, м<sup>3</sup>/мин, м<sup>3</sup>/с. Определяется абсолютная газообильность путём измерения процентного содержания газа и расхода воздуха в выработках шахты

$$I = 0,01 C_i Q_v, \quad (2.3)$$

где  $C_i$  – содержание газа, %;  $Q_v$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/мин или м<sup>3</sup>/с.

*Относительная* газообильность (q) – величина, определяемая отношением выделившегося газа за определённое время к массе или объёму добытого за этот период полезного ископаемого. Единицы относительной газообильности [q] = м<sup>3</sup>/т или м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. В угольной промышленности обычно относят к массе добытого угля. Величину относительной газообильности можно вычислить, зная абсолютную газообильность

$$q = I / A, \quad (2.4)$$

где A – добыча полезного ископаемого. При этом, I и A должны быть увязаны во времени.

К шахтам, опасным по газу, относятся такие, в которых хотя бы в одной выработке обнаружен метан. При проектировании шахт опасность по газу должна определяться на основании прогноза газообильности. Газовые шахты в зависимости от величины относительной метанообильности и вида выделения СН<sub>4</sub> разделяются на 5 категорий: I – до 5 м<sup>3</sup>/т; II – от 5 до 10 м<sup>3</sup>/т; III – от 10 до 15 м<sup>3</sup>/т; сверхкатегорийные – 15 м<sup>3</sup>/т и более, шахты опасные по суфлярным выделениям; опасные по внезапным выбросам – шахты, ведущие работы по пластам, опасным по внезапным выбросам угля и газа, шахты с выбросами породы.

Максимально допустимое ПБ содержание СН<sub>4</sub> (%) в атмосфере подземных выработок и трубопроводах: исходящий вентиляционный поток из тупиковых выработок, камер, поддерживаемых выработок, из очистных выработок, выемочного участка при отсутствии аппаратуры АКМ – 1; исходящий поток из очистной выработки, выемочного участка при установленной аппаратуре АКМ – 1,3; исходящий поток крыла, шахты – 0,75; поступающий поток на выемочный участок, в очистные выработки, к забоям тупиковых выработок и в камеры – 0,5; местное скопление метана в очистных, тупиковых и других выработках, на выходе из смесительных камер - <2; трубопроводы для изолированного отвода метана с помощью вентиляторов (эжекторов) – 3,5; дегазационные трубопроводы – до 3,5 и более 25. Под *выемочным участком* понимается обособленно проветриваемые очистная выработка и примыкающие к ней подготовительные выработки. К *местным скоплениям* относятся скопления метана в отдельных местах выработок с содержаниями, превышающими среднюю по сечению выработки. Допустимое содержание для местных скоплений относится к любой точке поперечного сечения выработки в свету.

Газообильность действующих шахт определяется на основании обработки результатов замера состава и расхода воздуха и данных телеинформации датчиков стационарных автоматических приборов контроля содержания метана и расхода воздуха, установленных в исходящих потоках выемочных участков (АКМ, АКВ). Относительная газообильность действующих шахт устанавливается ежегодно в январе по результатам обработки ежемесячных замеров. Для установления категории по газу действующей шахты принимается наибольшее значение относительной газообильности выемочного участка, крыла, горизонта, шахтопласта или шахты в целом.

Прогноз газообильности очистного забоя и выемочного участка осуществляется в соответствии с руководством по проектированию вентиляции угольных шахт. Ожидаемая метанообильность горных выработок для вновь проектируемых и новых горизонтов действующих шахт определяется по метаноносности угольных пластов и вмещающих пород, а для действующих шахт – по фактической метанообильности выработок – аналога данного шахтопласта.

Ожидаемое среднее метановыделение в очистной выработке ( $\bar{I}_{оч}$ , м<sup>3</sup>/мин) и на выемочном участке ( $\bar{I}_{уч}$ , м<sup>3</sup>/мин), определяемое по фактическому газовыделению:

$$\bar{I}_{оч} = \bar{I}_{оч.ф} \left( \frac{l_{оч.р}}{l_{оч.ф}} \right)^{0.4} \left( \frac{A_p}{A_ф} \right)^{0.6} k_{с.р} k_{г.р}; \quad (2.5)$$

$$\bar{I}_{уч} = \bar{I}_{уч.ф} \left( \frac{l_{оч.р}}{l_{оч.ф}} \right)^{0.4} \left( \frac{A_p}{A_ф} \right)^{0.6} k_{с.р} k_{г.р}, \quad (2.6)$$

где  $\bar{I}_{оч.ф}$  – среднее фактическое абсолютное газовыделение в очистной выработке, м<sup>3</sup>/мин;

$\bar{I}_{уч.ф}$  – среднее фактическое абсолютное газовыделение на выемочном участке, м<sup>3</sup>/мин;

$l_{оч.р}$  – длина очистной выработки, для которой рассчитывается ожидаемое газовыделение, м;

$l_{оч.ф}$  – длина очистной выработки, для которой определено фактическое метановыделение, м;

$A_p$  – планируемая добыча угля, т/сут;

$A_ф$  – средняя добыча угля, при которой определялось фактическое метановыделение, т/сут;

$k_{с.р}$  – коэффициент, учитывающий изменение системы разработки;

$k_{г.р}$  – коэффициент, учитывающий изменение метанообильности выработки с глубиной.

Максимально допустимая по газовому фактору нагрузка на очистной забой ( $A_{max}$ ) рассчитывается по формуле:

$$A_{max} = A_ф \bar{I}_р^{-1.67} \left( \frac{Q_p (C - C_o)}{194} \right)^{1.93} \left( \frac{l_{оч.р}}{l_{оч.ф}} \right)^{-0.67}, \quad (2.7)$$

где  $\bar{I}_р$  – среднее абсолютное метановыделение в очистной выработке или на выемочном участке, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_p$  – максимальный расход воздуха, который может быть использован для разбавления выделяющегося в очистной выработке или на выемочном участке метана, м<sup>3</sup>/мин;

$C$  – допустимое согласно ПБ содержание метана в исходящем из очистной выработки вентиляционном потоке, %;

$C_o$  – содержание метана в поступающем на выемочный участок вентиляционном потоке, %.

При получении малых значений нагрузки на очистной забой по газовому фактору следует разработать мероприятия по уменьшению газообильности очистной выработки. Для этого рекомендуется определить и проанализировать составляющие газового баланса участка (из разрабатываемого пласта, пластов-спутников, боковых пород), значения которых указывают на порядок применения мероприятий по увеличению нагрузки на очистной забой. Очевидно, следует попытаться снизить газовыделение прежде всего из преобладающего источника и проанализировать изменение  $A_{max}$ . При выборе способа снижения газообильности того или иного источника необходимо учитывать как эффективность, так и экономическую целесообразность его применения, т. е. затраты на осуществление мероприятий. Следует стремиться к достижению максимальной эффективности снижения газообильности при минимуме затрат. Для увеличения нагрузки на очистной забой по вентиляции рекомендуется осуществление таких мероприятий, как применение дегазации разрабатываемого пласта, спутников и выработанных пространств, изменение схемы проветривания и другие.

Абсолютная газообильность того или иного источника выделения газа после дегазации ( $\bar{I}_i^*$ , м<sup>3</sup>/мин), определяется по выражению:

$$\bar{I}_i^* = \bar{I}_i (1 - k_{дег.i}), \quad (2.8)$$

где  $\bar{I}_i$  - среднее абсолютное газовыделение из отдельного источника до дегазации, м<sup>3</sup>/мин;  
 $k_{dez.i}$  - коэффициент эффективности дегазации источника метановыделения.

## 2.4 Меры борьбы с метаном в шахтах

Условно все меры борьбы с метаном делят на 3 большие группы: меры, препятствующие образованию взрывоопасного содержания СН<sub>4</sub>; меры против воспламенения СН<sub>4</sub>; меры по локализации взрывов СН<sub>4</sub>.

Рассмотрим комплекс мер, препятствующих образованию взрывоопасного содержания СН<sub>4</sub>. 1. Подача воздуха в шахту в таком количестве, чтобы снизить нижний предел взрывчатости СН<sub>4</sub> (5 – 6%) в 5 – 10 раз. Отсюда требование ПБ по содержанию СН<sub>4</sub> (%) в отдельных выработках шахты (0,5; 0,75; 1; 1,3; 2). Измерение содержания СН<sub>4</sub> производится с помощью шахтных интерферометров ШИ – 3, ШИ – 6, ШИ – 10, ШИ – 11 и сигнализаторов СММ – 1, СШ – 2, Сигнал – 2, СЦС.

2. Управление газовыделением – рассредоточение во времени и в пространстве источников газовыделения. а) Применение прямоточных схем проветривания с подсвеживанием и выдачей исходящего потока на выработанное пространство, так называемых схем с полным обособленным разбавлением вредностей по источникам выделения. б) Установление порядка разработки пластов, планируя первоочередную разработку малогазоносных пластов или их опережающую разработку. в) *Дегазация* разрабатываемых пластов, пластов-спутников и выработанных пространств. Дегазация – это естественный или искусственный процесс удаления газов из их источников. Цель дегазации – снижение поступления СН<sub>4</sub> в горные выработки. При дегазации разрабатываемого пласта бурятся из подготовительных выработок в угольном пласте скважины диаметром 80 – 150 мм на расстоянии 10 – 20 м друг от друга, из которых отсасывается СН<sub>4</sub> с помощью вакуум-насосных установок (ВНУ) на протяжении до 6 месяцев. Коэффициент эффективности дегазации ( $K_{deg}$ ) пласта составляет 0,2–0,6. Осуществляется заблаговременная дегазация пласта за 3 – 8 лет до начала горных работ через вертикальные скважины, пробуренные с поверхности земли до угольного пласта. В эти скважины нагнетают воду с песком для увеличения газопроницаемости. Дегазация пластов-спутников, т. е. сближенных угольных пластов, осуществляется путём бурения скважин из подготовительных выработок (откаточного, вентиляционного штрека) разрабатываемого пласта на пласты-спутники и отсасывания газа с помощью ВНУ в тот момент, когда скважина находится в зоне разгрузки пласта-спутника. При столбовой системе разработки скважины бурят с разворотом в сторону лавы. Параметры скважин рассчитываются в соответствии с руководством по дегазации угольных шахт. При дегазации пластов-спутников  $K_{deg} = 0,2–0,7$ . Выбор способа дегазации выработанных пространств зависит от горно-технических условий и системы разработки. Дегазация может осуществляться через пробуренные скважины в купола обрушения, через перфорированные отростки, которые оставляют в погашаемой вентиляционной выработке, и путём изолированного отвода метана из выработанного пространства за пределы выемочных участков по трубопроводам и неподдерживаемым выработкам с помощью газоотсасывающих вентиляторов (эжекторов).  $K_{deg} = 0,3–0,8$ .

*Меры против воспламенения СН<sub>4</sub>*: запрещение открытого огня, курения в шахтах; применение взрывобезопасного, повышенной надёжности и особовзрывобезопасного электрооборудования (РВ, РП, РО); возможно меньшее применение взрывных работ; контроль содержания СН<sub>4</sub>.

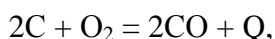
*Меры по локализации (ограничению) взрывов СН<sub>4</sub>*: разделение шахты на возможно большее число независимых в отношении проветривания участков, т. е. применение обособленного проветривания камер, выработок, выемочных участков, крыльев, горизонтов; составление схемы проветривания шахты с таким расчётом, чтобы при взрыве метана на одном из участков, другие остались бы обеспечены воздухом, т. е. не были бы разрушены вентиляционные сооружения и устройства на других участках; принятие мер против взрывов угольной пыли; организация горноспасательной службы на шахтах (ШГС); ознакомление рабочих со свойствами метана и запасными выходами из шахты.

### 3 ШАХТНАЯ ПЫЛЬ

К атмосферному воздуху в горных выработках кроме ядовитых и взрывчатых газов добавляется вредная и взрывоопасная *шахтная пыль*. Это совокупность тонкодисперсных, т. е. мелких и мельчайших, минеральных частиц, взвешенных в шахтном воздухе или осевших на стенки выработок. Взвешенную в воздухе пыль называют *аэрозолем*, а пыль в отложившемся, осевшем состоянии именуют *аэрогелем*. Между ними существует подвижное равновесие. Шахтная пыль образуется в основном в процессе ведения горных работ по добыче полезного ископаемого, т. е. в процессе отбойки, погрузки, транспортировки, бурения шпуров, взрывных работ и т. д. Если не принимать специальных мер по борьбе с пылью, то концентрация её может достигнуть в г/м<sup>3</sup>: 50-70 – у комбайнов; 2-30 – при погрузке; до 50 – при разгрузке. Сравним запылённость с предельно допустимыми ПДК концентрациями (ПДК) пыли угольных шахт в мг/м<sup>3</sup>: 2 – при SiO<sub>2</sub> = 10-70%; 4 - при SiO<sub>2</sub> = 5-10%; 6 - при SiO<sub>2</sub> до 5% (антрациты); 10 - при SiO<sub>2</sub> до 5% (каменные угли). К тому же на Землю ежегодно падает около 10000 т космического песка и пыли. Пыль опасна двояко: как профессиональная вредность, вызывающая заболевания дыхательных путей (антракозы и силикозы), и как причина взрывов.

#### 3.1 Горючие и взрывчатые свойства угольной пыли

Следует отметить, что горючими и взрывчатыми свойствами обладают пыли ряда горючих веществ, находящихся во взвешенном состоянии: гороха, дерева, какао, кофе, кукурузы, муки, отрубей, сахара, табака, торфа, хлопка, чая. Удивительно, что взрываются пыли и целого ряда негорючих веществ: алюминия, бронзы, железа, канифоли, нафталина, руд сернистых и колчедановых, серы, ферротитана, эбонита и электродов. Горючие и взрывчатые свойства пыли ряда веществ объясняются большой поверхностью соприкосновения с кислородом и тем, что из пыли ряда веществ при нагревании выделяются горючие газы. Наиболее опасна угольная пыль. При нагревании 1 кг угольной пыли выделяется 200-300 л горючих веществ. До 1906 г в научном мире шли споры по вопросу о том, может ли взрываться угольная пыль самостоятельно без присутствия CH<sub>4</sub>. Спор был прекращён лишь после трагедии, разыгравшейся на совершенно негазовой шахте «Куррьер» во Франции. Здесь произошёл взрыв угольной пыли, унёсший 1100 жизней горняков. В международной комиссии по выяснению причин взрыва угольной пыли участвовал от России будущий академик, а тогда ассистент Петербургской горной академии, А.А.Скочинский, который всю свою жизнь посвятил борьбе со взрывами CH<sub>4</sub> и угольной пыли. В Донбассе 77% шахто-пластов опасны по взрывам угольной пыли. О взрывчатых свойствах угольной пыли сейчас известно: она может взрываться самостоятельно, при полном отсутствии CH<sub>4</sub>; усиливает взрыв CH<sub>4</sub>; снижает нижний предел взрывчатости CH<sub>4</sub>; образуется огромное количество угарного газа, который является основной причиной гибели людей



где Q – выделяемая теплота, поэтому самоспасатель должен находиться постоянно рядом; угольная пыль взрывается при концентрации её в шахтной атмосфере от 10-50 до 2000-3000 г/м<sup>3</sup>; наибольшая сила взрыва (F<sub>max</sub>) наблюдается при концентрации 300-400 г/м<sup>3</sup>; t<sub>воспл.</sub> = 700 - 800 °C; t<sub>разв.</sub> = 2700 °C; P<sub>разв.</sub> = 1 МПа, т. е. превышает атмосферное давление в 10 раз; может наблюдаться прямое и обратное распространение взрывной волны; при взрыве выделяется огромное количество теплоты Q = 10-34 МДж /кг.

*Факторы, оказывающие влияние на взрывчатые свойства угольной пыли:* химический состав угля - к опасным по взрывам угольной пыли относятся пласты угля с выходом летучих веществ V<sup>daf</sup> ≥ 15%, а так же пласты (кроме антрацитов) с V<sup>daf</sup> < 15%, взрывчатость пыли которых установлена лабораторными испытаниями института по безопасности работ в горной промышленности МакНИИ; влажность угля (W), чем выше W, тем менее взрывчата угольная пыль, т. к. часть теплоты идёт на испарение влаги и кроме того влажную пыль тяжело поднять

во взвешенное состояние, при  $W > 40\%$  угольная пыль не взрывается; зольность угля ( $A_3$ ), чем выше  $A_3$ , тем менее взрывчата пыль, т. к. часть энергии уходит на нагревание золы, а не угольной пыли, при  $A_3 > 60\%$  угольная пыль не взрывается; дисперсность пыли – во взрыве принимают участие пылинки размером до 0,75-1 мм, взрывчатость растёт с увеличением степени измельчения, а по мере удаления от источника пылеобразования пыль более взрывоопасна, однако пылинки размером менее 10 мкм практически уже окислены при нормальных атмосферных условиях и поэтому во взрыве участия не принимают; плотность пылевого облака, т. е. концентрация взвешенной в воздухе пыли, нижний предел взрывчатости (н. п. в.) угольной пыли составляет 17-24 г/м<sup>3</sup>,  $F_{\max}$  наблюдается при 300-400 г/м<sup>3</sup>; род и мощность источника воспламенения, наиболее опасные – взрывные работы, т. к. происходит сотрясение массива и выбрасывается свежая, не окисленная угольная пыль; метан снижает н. п. в. угольной пыли, так при содержании метана 3% н. п. в. пыли составляет 5 г/м<sup>3</sup>.

### 3.2 Меры борьбы со взрывами угольной пыли

*Меры, препятствующие образованию пыли и пылевого облака:* эффективное проветривание (оптимальная скорость воздушного потока) – в очистных забоях  $V_{\text{оч.опт}} = 1,5-3,0$  м/с, в подготовительных выработках  $V_{\text{п.опт}} = 0,4-0,75$  м/с; применение выемочных машин и механизмов с исполнительным органом, дающим крупный скол (струги, «Донбасс»); гидродобыча (гидромониторы); мокрое бурение, сухое пылеулавливание; уборку пыли, связывание отложившейся пыли связывающе-смачивающими составами, побелка выработок, смыв пыли водой с ПАВ; запрещение подачи свежего воздуха по скиповым стволам, клетевым с опрокидными клетями, наклонным стволам и выработкам за пределами выемочного участка, оборудованным конвейерами; орошение у горных машин и оборудования, в процессе которых образуется пыль (запрещается работа машин без орошения или при неисправности блокировки, препятствующей пуску машины при нарушении пылеподавления); завесы водяные и туманообразующие; предварительное увлажнение угольных пластов в сочетании с вышеуказанными мерами борьбы с пылью. Предварительное увлажнение угольных пластов осуществляется в основном через скважины, пробуренные из подготовительных выработок. Параметры бурения скважин и нагнетания воды в пласт: диаметр скважин  $d_{\text{скв}} = 45-90$  мм; расстояние между скважинами  $L = 10-30$  м; время нагнетания  $\tau = 25-30$  суток, давление воды  $P_H = 1,5-13$  МПа. Нагнетание воды должно производиться обязательно с использованием ПАВ. Увлажнение угля можно осуществлять и со стороны груди очистного забоя через шпуров или скважины длиной 2-25 м, которые бурятся во время ведения работ по добыче угля в ремонтную смену. Параметры бурения и нагнетания воды:  $d_{\text{скв}} = 45-55$  мм,  $L = 3-30$  м,  $\tau = 10-30$  мин.

*Меры, препятствующие появлению источников воспламенения угольной пыли:* все меры против воспламенения метана; осланцевание груди подготовительного забоя и стенок выработок на протяжении 20 м от груди забоя при ведении взрывных работ или обмывка водой со смачивающе-связывающими составами; гидрозабойка шпуров; одновременное взрывание шпуров груди забоя по углю и ёмкостей с водой, в которые вложены электродетонаторы. Осланцевание – это искусственное увеличение зольности угольной пыли. Изготавливают сланцевую пыль из известняка, глинистого сланца, гипса, глины, аргиллита. Сланцевая (инертная) пыль должна удовлетворять следующим требованиям: горючих веществ  $\leq 1\%$ , свободного  $\text{SiO}_2 \leq 10\%$ , гидрофобна, т. е. не должна поглощать влагу, слеживаться и легко переходить во взвешенное состояние и быть светлого цвета, обеспечивающего возможность визуального контроля пылевзрывобезопасности горных выработок.

*Меры по локализации (ограничению) и подавлению взрывов пыли:* осланцевание горных выработок; сланцевые и водяные заслоны; автоматические системы. На пластах, опасных по взрывам пыли должны осланцовываться все выработки, за исключением очистных и подготовительных забоев, околоствольных дворов и стволов. Подлежат осланцеванию и выработки, соединяющие пласты опасные по взрывам пыли с неопасными. Периодичность осланцевания устанавливается начальником участка ВТБ и утверждается главным инженером шахты. Сланцевые и водяные заслоны представляют собой местное сосредоточение инертной пыли или воды. Заслоны представляют собой ряд легко опрокидываемых полок,

расположенных поперёк выработки у кровли, на которых расположена инертная пыль (насыпом или в бумажных мешках с разрезом по периметру) или вода в жёстких пластмассовых сосудах с поперечным сечением, имеющим форму перевернутой трапеции, (до 80 л каждый), или ряд плёночных бесшовных сосудов ПБС-1.

Плёночный бесшовный сосуд ПБС-1 представляет собой эластичный полиэтиленовый круг диаметром 800 мм, по периметру которого имеется 32 отверстия, в которые продета тесьма или капроновый шнур, снабжённый опорными кольцами. При помощи колец сосуд навешивается на двуплечий кронштейн, предварительно жёстко закреплённый на верхнем элементе крепи горной выработки. Заполняется ПБС-1 инертной пылью (12 кг) или водой (12 л). Расстояние между сосудами в одном ряду составляет 200 мм. Число сосудов в ряду в зависимости от площади сечения составляет от 4 до 8 штук. Физическая сущность действия заслонов: при взрыве ударная волна опрокидывает плёночный сосуд или полки с водой, или инертной пылью и гасит пламя, оставшейся после этого теплоты становится недостаточным для воспламенения угольной пыли на других участках шахты. Первый водяной заслон Таффонеля (Франция) был испытан в 1911 г. Сланцевыми и водяными заслонами должны быть защищены: очистные выработки; забои подготовительных выработок, проводимых по углю или по углю и породе; крылья шахтного поля в каждом пласте; конвейерные выработки; пожарные участки; склады взрывчатых веществ. Требования о защите заслонами крыльев шахтного поля и конвейерных выработок не распространяются на шахты, разрабатывающие пласты угля с  $V^{daf} < 15\%$ . Заслоны размещаются в выработках на входящем и исходящем потоках изолируемых выработок. Защита забоев подготовительных выработок должна осуществляться рассредоточенными заслонами. При этом в тупиковой части выработки устанавливается не менее 4 рядов сосудов (полок). Первый ряд должен быть установлен на расстоянии 25-40 м от забоя. Расстояние между первыми от забоя четырьмя рядами сосудов (полок) или бесшовных сосудов ПБС-1 должно составлять не менее 5 м. Расстояние между последовательными рядами сосудов (полок) или ПБС-1 (начиная с 5-го) должно быть одинаковым и не превышать 40 м. Для защиты конвейерных выработок, тупиковых подготовительных выработок, проводимых по углю, заслоны должны устанавливаться на всём протяжении выработок на расстоянии друг от друга не более 250 м (водяные заслоны) и не более 300 м (сланцевые заслоны). Требования к заслонам приведены в таблице.

Тип заслона	Количество пыли (воды), кг/м <sup>2</sup> S <sub>B</sub>	Длина заслона, м	Расстояние от забоев и между собой, м
Сланцевый	400	20	60-300
Водяной	400	30	75-250

Число сосудов в заслоне должно приниматься с запасом не менее 10%. Контроль пылевзрывобезопасности выработок на всём их протяжении должен производиться визуально с целью выявления наличия неосланцованных или несвязанных отложений угольной пыли.

## 4 ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ШАХТ И МЕРЫ ПО ЕГО НОРМАЛИЗАЦИИ

### 4.1 Метеорологические условия в шахтах и влияние их на организм человека

Атмосферный воздух, поступающий в шахту, претерпевает изменения некоторых параметров физического состояния. Изменяются: давление (P), влажность (W), скорость потока (V) и температура (t<sub>в</sub>). Давление воздуха с глубиной увеличивается на 12-13 Па/м, так как воздух обладает массой (1,2 кг/м<sup>3</sup>). Ожидаемое приращение давления воздуха в шахте на глубине 1500 м составит примерно 19500 Па, т. е. давление воздушного потока будет больше нормального (P<sub>0</sub> = 0,1 МПа) на поверхности шахты примерно в 1,2 раза. Медицина считает безопасным пребывание человека в воде на глубине 20 м, что соответствует превышению атмосферного давления в 2 раза. В опытах, проводимых учёными США, человекообразная обезьяна выдерживала давление в 67 раз превышающее атмосферное. В 2002 г француз Луак



Леферм опустился (нырнул) в воду без дыхательного аппарата на 162 м, где он кратковременно испытывал давление больше атмосферного в 17 раз. Кессонные работы в шахтах производятся при давлении в 4 раза превышающем атмосферное. Поэтому ПБ давление воздуха в шахте не нормирует.

Различают абсолютную и относительную влажность воздуха. *Абсолютная влажность* ( $\alpha$ ) – величина, характеризующая содержание водяного пара в 1 объёма или 1 массы воздуха. Единица величины  $[\alpha] = \text{г/м}^3, \text{г/кг}$ . Абсолютная влажность воздуха на Земле составляет 1-30  $\text{г/м}^3$  (пустыня, север - тропики, море). *Относительная влажность* ( $\varphi$ ) – величина, характеризующаяся отношением водяных паров содержащихся в каком-либо объёме к максимально возможному их содержанию при данной температуре. Единицы величины  $[\varphi] = \%$ , доля единицы. На вентиляционных горизонтах шахт  $\varphi = 90-100\%$ , как в южных городах Сочи и Батуми. Сама по себе высокая относительная влажность вредного влияния на организм здорового человека не производит, поэтому ПБ величину влажности не нормируют.

*Скорость движения воздуха* ( $V$ ) ПБ ограничивают, так как от скорости потока зависит интенсивность теплообмена человеческого организма с окружающей средой и вынос пыли из шахты. Пыль необходимо удалить, не поднимая во взвешенное состояние осевшую на стенки выработок. Средняя скорость воздуха в призабойных пространствах очистных и тупиковых выработок должна быть не менее 0,25 м/с, в остальных выработках, проветриваемых за счёт общешахтной депрессии, - не менее 0,15 м/с. Максимальная скорость движения воздуха в отдельных горных выработках и вентиляционных устройствах определена ПБ и колеблется от 4 м/с (призабойные пространства очистных и тупиковых выработок) до 15 м/с (стволы и вентиляционные скважины с подъёмными установками, предназначенными только для подъёма людей в аварийных случаях, вентиляционные каналы).

В действующих горных выработках, где постоянно (в течение смены) находятся люди, температура и влажность воздуха должны соответствовать нормам, приведенным в таблице:

Скорость воздуха, м/с	Допустимая температура, °С, при относительной влажности, %		
	75и менее	76-90	свыше 90
до 0,25	24	23	22
0,26-0,50	25	24	23
0,51-1,00	26	25	24
1,01 и более	26	26	26

Обратите внимание, что  $t_v$  ограничивается в зависимости от  $\varphi$  (%) и  $V$  (м/с), и  $t_{\max} = 22-26$  °С. В организме человека непрерывно происходят сложные биохимические процессы по расщеплению пищи до простейших элементов, необходимых для питания тканей, и по разрушению органических веществ, входящих в состав живых тел. Все процессы идут с окислением белков, жиров, углеводов, в результате чего образуется теплота. Количество выделяемой теплоты пропорционально интенсивности трудовой деятельности человека, от состояния покоя до тяжёлого физического труда, оно колеблется в пределах 80-450 Вт. Для поддержания постоянной температуры вся образующаяся теплота должна отводиться в окружающую среду. Лишь небольшая часть теплоты используется полезно: для подогрева вдыхаемого воздуха и потребляемой пищи. К. п. д. человека составляет 0,05-0,15. Тепловые удары у шахтёров наблюдались при температуре 30,3 °С. В Донбассе при спасении людей во время пожара погибло отделение горноспасателей при температуре воздуха 41 °С. В результате повышения температуры выше установленной ПБ на 1 °С производительность труда рабочего снижается на 6-8 %.

Отвод теплоты в окружающую среду осуществляется тремя путями: *конвекцией* – удалением или переносом теплоты с поверхности нагретых тел тёплого, наименее плотного, лёгкого воздуха; *излучением* – лучеиспусканием тепловых инфракрасных лучей, *испарением пота*. Интенсивность теплоотдачи конвекцией зависит от  $V$  и  $t_v$ , при этом отвод теплоты конвекцией возможен лишь тогда, когда температура воздуха ( $t_v$ ) будет меньше температуры поверхности тела ( $t_{\text{пов.т}}$ ). В нормальных условиях температура кожного покрова человека не

превышает 34 °С, а при усиленной работе может достигать 37 °С. Поверхность тела человека, как поверхность любого нагретого тела излучает тепловые лучи. Явление теплового излучения сопровождается двойным превращением энергии: тепловая энергия превращается в лучистую, которая затем превращается снова в тепловую. Попадая на другие тела, лучистая энергия частично поглощается, частично отражается и частично проходит сквозь тело. Лучеиспусканием отводится 5-10% избыточной теплоты. При температуре стенки ( $t_{ст}$ ) равной 30 °С лучеиспусканием отводится 10 Вт теплоты, а при  $t_{ст} = 40$  °С тело человека поглощает 15 Вт теплоты. Потеря тепла излучением пропорциональна разности температур человеческого тела и стенок горных выработок. Теплоотдача испарением пота с поверхности тела человека объясняется тем, что на испарение влаги затрачивается теплота. Удельная теплота парообразования воды составляет примерно 2500 Дж/г. Потовыделение достигает 10 л и более. У человека потеря влаги идёт за счёт увеличения плотности крови, её загустевания. Если потеря влаги составляет 12% от массы тела, то человек погибает. У верблюда потеря влаги идет за счёт уменьшения массы всего тела, т. е. за счёт клеток организма. Заболевание, обусловленное потерей влаги, - «отравление водой» вызывает у человека сильные судороги конечностей, так как с потом выносятся из организма галит (каменная соль). При  $t_b > 33$  °С тепловое благополучие организма поддерживается практически только за счёт выделения и испарения пота. В кожном покрове человека имеется более 2 млн. потовых желез, способных выделить до 12 л пота. Итак, на интенсивность теплообмена человеческого организма с окружающей средой влияют: температура окружающей среды (пород и воздуха), скорость и относительная влажность воздуха. Для человека находящегося в покое «метеокомфорт» будет при:  $t_b = 18-20$  °С;  $V = 0,2-0,3$  м/с;  $\phi = 40-60$  %. В этом случае отдача теплоты осуществляется всеми тремя путями. Совместное действие  $t_b$ ,  $V$  и  $\phi$  можно определить с помощью кататермометра. Он представляет собой спиртовой термометр, который имеет в верхней части расширение капилляра. Шкала проградуирована от 35 до 38 °С. Предварительно резервуар кататермометра помещают в термостат в горячей водой. Каждый кататермометр имеет свой фактор (F), т. е. постоянную величину, показывающую потерю теплоты с 1см<sup>2</sup> резервуара. Катаградусы определяются по формуле:  $H = F / \tau$ , где  $\tau$  – время охлаждения спирта от 38 до 35 °С, секунды. Установленные на основании многочисленных исследований нормы минимальных значений катаградусов приведены в таблице.

Вид работы	H сухие	H мокрые
Лёгкая	6	18
Средней тяжести	8	25
Тяжёлая	10	30
Работа шахтёров	10-12	30-35

#### 4.2 Основные факторы, влияющие на температуру воздуха в шахте

- *Температура пород*, окружающих горные выработки. Изобразим земную поверхность и в плоскости её расположим ось температур пород  $t_{п}$ . На протяжении первых десятков метров температура пород переменна и зависит от температуры воздуха на поверхности Земли (весна, лето, осень, зима). На определённой глубине ( $h_0$ ) находится зона постоянной температуры пород ( $t_{const}$ ). Для Донбасса она находится на глубине  $h_0 = 25-30$  м от поверхности, а температура пород в зоне постоянной температуры ( $t_{зн}$ ) на 1,5-2 °С превышает среднюю годовую температуру воздуха (7-9 °С) и составляет 9-11 °С. Ниже границы зоны постоянной температуры температура пород возрастает с глубиной по линейному закону. Интенсивность нарастания  $t_{п}$  с глубиной характеризуется геотермической ступенью ( $\Gamma_{ст}$ ) – величиной, показывающей на сколько метров нужно опуститься ниже зоны  $t_{const}$ , чтобы  $t_{п}$  изменилась на 1 °С. Величина обратная геотермической ступени называется геотермическим градиентом ( $\sigma$ )  $\sigma = 1/\Gamma_{ст}$ . Значение  $\Gamma_{ст}$  на Земном шаре колеблется в широком диапазоне 2-230 м/К. Для Донбасса  $\Gamma_{ст} = 30-50$  м/К. Значение  $t_{п}$  на определённой глубине можно подсчитать по формуле

$$t_{\text{п}} = t_{\text{зн}} + (H - h_0) / \Gamma_{\text{ст}},$$

где  $t_{\text{зн}}$  - температура пород в зоне постоянной температуры, °С;  $H$  – определённая глубина, м;  $h_0$  - глубина зоны постоянной температуры, м;  $\Gamma_{\text{ст}}$  - геотермическая ступень, м/К.

Сразу после обнажения пород происходит интенсивный теплообмен между породами и воздухом. Количество теплоты, отдаваемое воздуху, зависит в основном от разности температур пород и воздуха, и скорости движения воздушного потока. Тепловыделение от пород составляет 50-70 % от всего тепловыделения в шахте.

- *Сжатие воздуха* при движении вниз по вертикальным и наклонным выработкам. Оно возникает под действием силы собственного веса. Произведенная при сжатии работа затрачивается на увеличение внутренней энергии воздуха и сопровождается повышением его температуры на величину 0,01 К/м. Так в воздухоподающем стволе шахты глубиной 1000 м за счёт сжатия воздуха температура его повысится на 10 градусов. Правда, это справедливо для абсолютно сухого воздуха при отсутствии процессов теплообмена и массообмена с окружающими поверхностями выработок. В действительности интенсивность изменения температуры воздуха с глубиной несколько меньше. Аналогично понижается температура воздуха при движении его на поверхность по вертикальным стволам и наклонным выработкам.

- *Окисление* полезного ископаемого, пород, древесины, органических веществ сопровождается выделением теплоты. Удельное тепловыделение от окисления: в капитальных подготовительных выработках составляет 2-6 Вт/м<sup>2</sup>; в участковых выработках – 7,5 Вт/м<sup>2</sup>; в очистных забоях – 15 Вт/м<sup>2</sup>. Скорость окисления прямо пропорциональна притоку кислорода, т. е. расходу воздуха. Приращение тепловыделения от окисления составляет около 30% от общего.

- *Испарение влаги*, содержащейся в горных выработках из канавок, по которым движется вода, поверхностей угля и пород, сопровождается поглощением теплоты. При испарении 1 г воды в 1 кг воздуха температура его снижается на 2,4 °С.

- *Работающие машины и механизмы*, электро-, пневмо- и гидроустановки. Это комбайны, струги, лебёдки, насосы, вентиляторы, маслостанции, трансформаторы, конвейера, электровозы, потеря энергии в кабелях и осветительных приборах. Только от проходческого комбайна  $t_{\text{в}}$  увеличивается на 10-12 °С. За вентилятором местного проветривания (ВМП)  $t_{\text{в}}$  повышается на 2-6 °С. Сжатый воздух, поступающий от компрессора по трубопроводам, проложенным по стволам, имеет  $t = 70-80$  °С. Вся мощность осветительных приборов претворяется в теплоту. Каждые 5% мощности трансформаторов переходят в теплоту. Один процент мощности в кабелях на каждый 1 км их длины превращается в теплоту.

- *Транспортируемое ископаемое и горные породы*. Температура горной массы в транспортных сосудах всего на 3-5 ниже её температуры в нетронутом массиве. Так на глубине 1200 м  $t_{\text{п}} \approx 50$  °С, а допустимая ПБ  $t_{\text{в}} = 22-26$  °С. Разность  $t_{\text{тр.иск}} - t_{\text{в}} \approx 20$  °С.

- *Десорбция метана*, т. е. выделение, точнее расширение, которое идёт с поглощением теплоты. Теплота, поглощаемая при десорбции  $\text{CH}_4$  для углей Донбасса, приводит к понижению температуры угля на 0,24 °С/час.

- *Интенсивность проветривания*. С увеличением расхода воздуха ( $Q_{\text{в}}$ ) температура его снижается, т. к. на 1 м<sup>3</sup> приходится меньшее количество теплоты.

- *Колебание  $t_{\text{в}}$  на поверхности*. Существенное влияние оно оказывает только для неглубоких шахт.

#### 4.3 Способы регулирования теплового режима шахт.

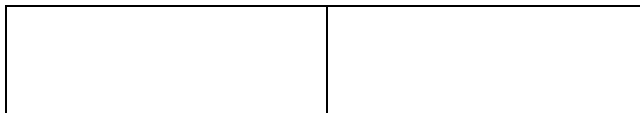
Способы регулирования температуры воздуха в шахтах прямо вытекают из факторов, влияющих на  $t_{\text{в}}$ . Необходимо нейтрализовать факторы, приводящие к увеличению  $t_{\text{в}}$ , и реализовать снижающие её факторы.

*Горно-технические мероприятия по снижению температуры воздуха*, т. е. комплекс мероприятий, предохраняющих воздух от нагревания при его движении к местам потребления.

На шахтах, где применяется электроэнергия, потребность регулирования тепловых условий возникает уже на глубине 450-500 м, а на шахтах, где используется пневмоэнергия, - на глубине 600-700 м. Для нейтрализации высокой  $t_{п}$  лучше всего было бы *локальное охлаждение человеческого организма*, скажем, специальный костюм с терморегуляцией и отводом излишней теплоты, изготовленный из материала, охлаждающего в жару и согревающего в холод.

- *Увеличение расхода воздуха ( $Q_{в}$ )* до максимально возможного по ПБ, при этом быстрее остывает горный массив и меньше нагревается воздух, так как на 1 м<sup>3</sup> приходится меньшее количество теплоты.

- *Применение прямоточных схем проветривания* выемочных участков с полным обособленным разбавлением вредностей по источникам поступления в атмосферу (*3-ий тип схем*) с нисходящим проветриванием очистного забоя и выдачей исходящей струи на выработанное пространство. Это позволяет снизить температуру  $t_{в}$  на 3-10 °С у входа в лаву и на 2-4 °С на выходе из лавы.



Улучшение тепловых условий происходит за счёт того, что свежий поток воздуха идёт по повторно используемой, предварительно охлаждённой выработке, расположенной на меньшей глубине, чем исходящий поток. Только за счёт нисходящего проветривания  $t_{в}$  снижается на 2-2,5 °С. Кроме того, из выработанного пространства теплота выносится на подготовительную выработку, а не в лаву; из транспортируемого ископаемого теплота в очистной забой не поступает.

- *Сокращение протяжённости* вентиляционной сети шахт за счёт: изменения схемы вскрытия, рациональной подготовки шахтного поля, системы разработки месторождения, проведения выработок по пустым породам, группирование пластов на полевые штреки, проведение скважин к забоям, что приводит к снижению  $t_{в}$  у входа в лаву на 3-5 °С.

- *Теплоизоляция поверхности (стенок)* горных выработок, применяется при  $t_{п} \geq 40-45$  °С. Наносится на стенки выработок слой изоляционного материала (полиуретан, стеклянная вата) толщиной 0,05-0,15 м. Целесообразна теплоизоляция стенок в свежeproйденных выработках.

- *Снижение интенсивности окислительных процессов*: пропитывание или покрытие поверхности угля специальными составами, препятствующими доступ  $O_2$  к нему; борьба с угольной пылью; замена деревянных затяжек на железобетонные; использование в качестве воздухоподающих полевых выработок.

- *Снижение интенсивности испарения влаги* в стволах и капитальных выработках путём борьбы с капежём в стволах, перекрытием канавок в выработках, отвода основного потока воды по вентиляционным горизонтам.

- *Повышение к. п. д.* машин и механизмов;

- *Обособленное проветривание* очистных, подготовительных забоев, камер, выработок с конвейерным транспортом;

- *Теплоизоляция трубопроводов сжатого воздуха* и расположение их на исходящих вентиляционных потоках.

- *Увеличение подвижности воздуха* в забоях с помощью аппаратов воздушного душирования («Ветерок», «Прохлада»).

#### 4.4 Охлаждение воздушного потока

Охлаждение воздушного потока применяется тогда, когда все возможности горно-технических мероприятий исчерпаны. Это наблюдается при глубине работ по добыче угля превышающей 700-800 м. Осуществляется охлаждение воздуха с применением и без применения специальных холодильных машин. Теплоту от воздуха можно отвести путём соприкосновения его с какой-либо холодной поверхностью или путём смешения его с газообразной струёй, имеющей температуру ниже температуры воздуха. К средствам

охлаждения воздуха можно отнести: *пропускание воздуха через тепловыравнивающие каналы*, расположенные в зоне постоянных температур ( $t_{const}$ ). Здесь же могут разбрызгивать воду с низкой температурой (горные реки, 4 °С), зимой наращивать лёд, а летом поглощать внешнюю теплоту на плавление льда. Удельная теплота плавления льда составляет 335 кДж/кг. В Канаде на руднике «Стоби Фруд» намораживали на глубине 92 м до 144000 т льда.

Можно *испарять жидкий воздух*. При испарении 1 кг его поглощается 500 кДж теплоты. Однако на получение 1 кг жидкого воздуха затрачивается сейчас 4320 кДж теплоты. Энергозатраты на охлаждение потока жидким воздухом в настоящее время более чем в 20 раз превышают их при использовании парокомпрессионных холодильных машин.

Охлаждаться воздух может *путём увлажнения, предварительно осушенного воздуха сорбентами (CaCl<sub>2</sub>) и путём выпуска (расширения) сжатого воздуха*, однако пока экономически себя это не оправдало.

На 26 шахтах Украины применялись стационарные компрессионные холодильные машины. Они работают на принципе испарения (расширения в испарителе) и последующей конденсации (охлаждения через водоохладитель в конденсаторе) холодильного агента. Хладагент в испарителе поддерживается в состоянии кипения при низкой температуре (-18...+5 °С) путём создания пониженного давления в испарителе в результате отсасывания компрессором образовавшихся паров. Давление в испарителе должно быть таким, при котором температура кипения хладагента ниже температуры охлаждаемого воздуха. Изъятие теплоты от воздуха осуществляется через холодоноситель в воздухоохладителе. В качестве воздухоохладителя применяется рассол. Воздух, проходя через воздухоохладитель, отдаёт ему теплоту и охлаждается. Холодильные машины и воздухоохладители могут устанавливаться на поверхности или в шахте.

Кроме стационарных холодильных установок имеются кондиционеры передвижные шахтные (КПШ-90). Они применяются для охлаждения воздуха в очистных и подготовительных забоях. В очистных выработках КПШ можно применять с распределённой подачей охлаждённого воздуха по длине лавы. В тупиковых выработках КПШ применяют с теплоизолированными вентиляционными трубопроводами.

В зимнее время для предотвращения обмерзания стволов производится подогрев поступающего воздуха калориферами. По ПБ в шахтах при стволах и штольнях с поступающим потоком воздуха должны быть калориферные устройства, обеспечивающие поддержание температуры воздуха не менее +2 °С в 5 м от сопряжения канала калорифера со стволом (штольней).

## II ШАХТНАЯ АЭРОМЕХАНИКА

### 5 ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ АЭРОСТАТИКИ И АЭРОДИНАМИКИ. АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

#### 5.1 Уравнения аэростатики

Аэростатика изучает условия равновесия газов (воздуха) и действие неподвижного воздуха на погруженные в него тела. Одной из основных задач аэростатики является определение изменения давления воздуха (P) с глубиной в неподвижном воздухе. Основное *уравнение аэростатики* имеет вид:

$$P = P_0 + \rho gH, \quad (5.1)$$

где  $P_0$  - давление воздуха на поверхности земли, Па;  $\rho$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  - разность высотных отметок, начала и конца выработки, м.

*Закон сохранения массы* (уравнение неразрывности движения потока) записывается в виде

$$m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_n, \quad (5.2)$$

где  $m$  – массовый расход воздуха, кг/с. Он гласит: если стенки выработок воздухопроницаемы, то массовый расход воздуха в любом из сечений выработки является величиной постоянной в процессе его движения по выработке.

$$m = \rho Q = \rho V S, \quad (5.3)$$

где  $Q$  – объёмный расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $V$  – скорость воздушного потока, м/с;  $S$  – площадь сечения выработки, м<sup>2</sup>.

Для изотермического потока ( $t_b = \text{const}$ ) плотность воздуха  $\rho = \text{const}$ , поэтому и объёмные расходы воздуха в выработке не изменяются, т. е.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n \quad (5.4)$$

Применяется закон сохранения массы при определении утечек воздуха в вентиляционной сети, как разность расходов по длине выработки.

## 5.2 Уравнение Д.Бернулли. Понятие депрессии

Швейцарский учёный Д.Бернулли в 1738 г предложил основное уравнение гидродинамики, связывающее скорость течения жидкости ( $V$ ), давление в ней ( $P$ ) и расположение над плоскостью отсчёта ( $z$ ). Уравнение выведено для элементарной струйки ( $S_{\min}$ ) идеальной жидкости, т. е. жидкости несжимаемой, имеющей  $\rho = \text{const}$ , и лишённой вязкости  $\nu = 0$  ( $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с)

$$P + \rho V^2/2 + \rho g z = \text{const}, \quad (5.5)$$

где  $P$  – статическое давление, создаваемое источником тяги (вентилятором) – потенциальная энергия 1 объёма, обусловленная давлением жидкости;  $\rho V^2/2$  – динамическое давление – кинетическая энергия 1 объёма жидкости;  $\rho g z$  – статическое давление, обусловленное силой тяжести жидкости – потенциальная энергия 1 объёма, обусловленная силой тяжести. А все 3 слагаемых – полное давление жидкости или полный запас энергии жидкости является величиной постоянной в любом сечении её, т. е. Д.Бернулли подтвердил закон сохранения энергии, выдвинутый Лейбницем в 1686 г. Но по горным выработкам движется не идеальная, а реальная жидкость – шахтный воздух, который сжимаем и размер плотности воздуха зависит от  $t_b$ ,  $P$  и  $\phi$ . Однако, сжимаемостью можно пренебречь так как скорость воздушного потока в шахте значительно меньше скорости звука (333 м/с). Кроме того, реальная жидкость обладает вязкостью, следовательно, при движении воздушного потока возникают силы трения как между отдельными струйками, так и с окружающими горные выработки породами, на преодоление которых затрачивается энергия. Для реальной вязкой жидкости переменной плотности уравнение Д.Бернулли имеет вид:

$$P_1 + \rho_1 V_1^2/2 + \rho g z_1 = P_2 + \rho_2 V_2^2/2 + \rho g z_2 + h, \quad (5.6)$$

откуда, группировав отдельные слагаемые, получим

$$h = (P_1 - P_2) + (\rho_1 V_1^2 - \rho_2 V_2^2)/2 + \rho g(z_1 - z_2), \quad (5.7)$$

где  $h$  – депрессия, т. е. затрата энергии на преодоление сил сопротивления при движении воздушного потока по горным выработкам, Па;  $(P_1 - P_2)$  – разность статических давлений, создаётся вентилятором и поэтому именуется депрессией вентилятора, Па;  $(\rho_1 V_1^2 - \rho_2 V_2^2)/2$  – разность динамических (скоростных) давлений, называют динамической или скоростной депрессией; она может иметь знак (+) или (-) в зависимости от того, какие значения больше  $V_1$  или  $V_2$ , Па;  $\rho g(z_1 - z_2)$  – разность давлений положения, именуют депрессией естественной тяги; знак может быть разным в зависимости от размеров значений  $z_1$  и  $z_2$ , Па. Таким образом,

воздушный поток движется по горным выработкам за счёт разности давлений, создаваемой вентилятором, скоростным напором и естественной тягой

$$h = h_b \pm h_{ck} \pm h_e \quad (5.8)$$

Дадим определения *депрессии*. 1. Депрессия – это затрата энергии на перемещение  $1 \text{ м}^3$  воздуха по сети горных выработок. 2. Депрессия – это разность полных давлений воздуха в двух сечениях выработок сети, депрессия которых нас интересует.

### 5.3 Режимы движения воздуха в шахтах.

Движение воздуха принято характеризовать двумя режимами: ламинарным и турбулентным. *Ламинарный* (от лат. lamina - пластина) режим характеризуется упорядоченным течением, при котором воздух перемещается как бы слоями, параллельными направлению движения. Наблюдается он при малых скоростях движения потока. Профиль (эпюра) средней скорости течения воздуха описывается параболой. При этом  $V_{\max} = 2V_{\text{ср}}$ .

*Турбулентный* (от лат. turbulentus – бурный, беспорядочный) режим характеризуется неустановившимся движением воздуха по сложным траекториям, при которых элементарные частички воздуха совершают поступательное и поперечное движение, что приводит к интенсивному перемешиванию воздуха. Профиль (эпюра) средней скорости течения имеет логарифмический характер изменения,  $V_{\max} = 1,23V_{\text{ср}}$ . Режим движения воздушного потока характеризуется числом *Рейнольдса*

$$Re = Vd/\nu, \quad (5.9)$$

где  $V$  – скорость воздуха, м/с;  $d$  – эквивалентный диаметр выработки, м,  $d = 4S/U$   $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ :  $\nu = \eta/\rho$ , где  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости или вязкость, Па/с;  $\rho$  – плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ . *Вязкость* – это свойство газа оказывать сопротивление перемещению одной её части относительно другой. Для нормальных (стандартных) условий ( $P = 0,1 \text{ МПа}$ ,  $T = 273 \text{ К}$ )  $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Эквивалентный диаметр выработки определяется по формуле

$$d = 4S/U, \quad (5.10)$$

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

Критическим для идеальной жидкости является  $Re_{\text{кр}} = 2320$ , при  $Re < 2320$  – ламинарное течение жидкости, при  $Re > 2320$  – турбулентное. Для горных выработок шахт  $Re_{\text{кр.г.в}} = 1500$ . При минимально допустимой ПБ скорости воздуха ( $V_{\min} = 0,15 \text{ м/с}$ ) для небольшой горной выработки ( $S = 4 \text{ м}^2$ ) число Рейнольдса составляет  $Re \approx 20000$ , т. е. в этой выработке наблюдается турбулентный режим движения воздушного потока. Ламинарный режим возможен в шахте лишь при фильтрации воздуха при утечках через целики угля и уплотнённые выработанные пространства.

### 5.4 Закон сопротивления

Закон сопротивления выражает зависимость между депрессией ( $h$ ), средней скоростью потока ( $V$ ) или расходом воздуха ( $Q$ ) в выработке. Он имеет вид:

$$h = R_1 V^n = R_2 Q^n, \quad (5.11)$$

где  $R_1, R_2$  – коэффициенты пропорциональности;  $V$  – скорость воздуха, м/с;  $Q$  – расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $n$  – показатель степени, зависящий от режима движения воздуха:  $n = 2$  при турбулентном режиме и  $n = 1$  при ламинарном. При расчёте депрессии горных выработок принимается  $n = 2$ .

Однако знание лишь закона сопротивления недостаточно для расчёта депрессии выработок, т. е. затраты энергии на преодоление сопротивления в горных выработках

### 5.5 Аэродинамическое сопротивление горных выработок

Так как по сети горных выработок движутся реальные газы – шахтный воздух, который обладает вязкостью, а стенки горных выработок далеко не абсолютно гладкие, то движущемуся воздуху в вентиляционной сети приходится преодолевать аэродинамическое сопротивление. На преодоление сил сопротивления движению воздуха и придание ему определённой скорости затрачивается энергия вентиляторными установками шахты. Условно сопротивления движению воздуха подразделяют на три вида: сопротивления трения, лобовые и местные сопротивления. *Сопротивления трения* вызываются силами трения потока воздуха о стенки выработок: кровлю, почву, крепь, затяжки, т. е. о поверхности, ограничивающие его. В горных выработках основным является трение воздуха о элементы крепи. У стоек крепи поток воздуха сжимается и следовательно теряется часть энергии в виде выделяемой теплоты при гидравлическом ударе (сжатии) воздуха. У лобовой части стоек наблюдается и вихреобразование в месте соприкосновения со стенкой выработки. За стойками, вследствие срыва потока, образуется так называемая «мёртвая зона», в которой происходит вихреобразование и рассеивается (отнимается) ещё часть энергии. Величина аэродинамического сопротивления выработок при этом зависит от типа выработок (ствол, горизонтальные, наклонные, лавы), вида крепления, расстояния между элементами крепи и т. д. Потеря энергии на преодоление сопротивление трения рассчитывается по формуле:

$$h = \alpha ULQ^2/S^3 = RQ^2, \quad (5.12)$$

где  $h$  – депрессия, Па;  $\alpha$  – коэффициент аэродинамического сопротивления горных выработок,  $\text{кг/м}^3$ , значения его зависят от типа горных выработок, вида крепи, площади сечения выработки, расстояния между стойками и т. п.;  $U, L$  – периметр сечения и длина выработки, м;  $Q$  – расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $S$  – площадь сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;  $R$  – аэродинамическое сопротивление горных выработок, т. е. сопротивление, которое преодолевает воздух при движении его по сети горных выработок,  $\text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6 = \text{кг/м}^7$

$$R = \alpha UL/S^3 \quad (5.13)$$

Мероприятия по снижению сопротивления трения: уменьшение шероховатости стенок – торкретирование, штукатурка, обшивка крепи гладкими материалами, затяжка боков выработки деревом или железобетоном; увеличение сечения, так как уменьшается относительная шероховатость.

*Лобовые сопротивления* оказываются потоку воздуха лобовыми (фронтальными) частями тел находящихся в нём. К лобовым сопротивлениям в шахте относятся: элементы армировки стволов, вагонетки, ремонтини, крепь лав и т. д. Понятие лобовых сопротивлений чисто условно, так как стойки крепи, стоящие у стенок выработок испытывают тоже лобовое сопротивление. Механизм действия сил лобовых сопротивлений заключается в том, что при турбулентном движении воздушного потока происходит удар его о лобовую поверхность, т. е. поверхность, расположенную перпендикулярно направлению потока, при этом увеличивается давление и часть энергии уходит в виде тепла и образования завихрения на лобовой части. Кроме того, за счёт достаточно большой скорости потока и повышенного давления у лобовой части происходит отрыв потока от твёрдых границ, что приводит к образованию вихрей (мёртвых зон), где рассеивается часть энергии, которой обладает движущийся воздух. Лобовые сопротивления слагаются из сопротивления формы и сопротивления трения. Потеря давления, вызываемая преодолением лобовых сопротивлений, определяется по формуле:

$$h_{\text{лс}} = C_x S_m \rho V^2 / 2 (S - S_m), \quad (5.14)$$



где  $C_x$  – коэффициент лобовых сопротивлений, зависит от типа сопротивлений;  $S_m$  – Миделево сечение – наибольшее сечение в плоскости перпендикулярной направлению потока,  $m^2$ ;  $\rho$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ .

Мероприятия по снижению лобовых сопротивлений: придание телам обтекаемой формы – переднюю по ходу струи грань закругляют, а заднюю – постепенно сужают. Лобовые сопротивления условно относят к сопротивлениям трения и учитываются в них ( $\alpha_{ств}$ ,  $\alpha_{лав}$ ,  $\alpha_{пв}$ ).

Основная часть общешахтной депрессии расходуется на преодоление сопротивления трения и лобовых сопротивлений, а другая значительно меньшая часть – на преодоление так называемых местных сопротивлений. К местным сопротивлениям в шахте относятся: повороты потоков, внезапные сужения и расширения его, сопряжение выработок и комбинация их. Для местных сопротивлений характерным является срыв потока с твёрдых границ под действием сил инерции и образование застойных, так называемых «мёртвых зон», в которых происходит постоянное вращательное движение воздушных масс, уносящее часть энергии из потока. Потеря энергии, т. е. депрессия местных сопротивлений рассчитывается по формуле:

$$h_{mc} = \xi \rho V^2 / 2, \quad (5.15)$$

где  $\xi$  – коэффициент местных сопротивлений. Общая депрессия ряда сложных местных сопротивлений (каналы вентиляторов, кроссинги и т. п.) определяется как сумма депрессий отдельно взятых местных сопротивлений сети. Основные мероприятия по снижению местных сопротивлений: придания выработкам таких форм, при которых бы исключались или приводились к минимуму мёртвые зоны (плавные переходы от одного сечения к другому, плавные повороты, отшивка кутков и т. д.); снижение шероховатости стенок.

Для расчёта общей депрессии шахты, т. е. общей потери давления на преодоление сопротивления, суммируют депрессии на преодоление трения и местных сопротивлений.

Трудность проветривания шахты характеризует значение показателя  $n_{уд}$ , которое определяется 1 раз в год по формуле:

$$n_{уд} = \Sigma Q_v h_v / 100 (\Sigma Q_{уч} + \Sigma Q_{т.в} + \Sigma Q_{пог.в} + \Sigma Q_{под.в} + \Sigma Q_k), \quad (5.16)$$

где  $n_{уд}$  – удельная мощность, затрачиваемая на подачу 1  $m^3/c$  полезно используемого воздуха,  $kBt \cdot c / m^3$ ;  $\Sigma Q_v h_v$  – сумма произведений фактических подач вентиляторов  $Q_v$  ( $m^3/мин$ ) на давления  $h_v$  (даПа);  $\Sigma Q_{уч}$  – сумма расходов воздуха для проветривания выемочных участков,  $m^3/мин$ ;  $\Sigma Q_{т.в}$  – сумма расходов воздуха, подаваемого к месту установки ВМП, для обособленного проветривания тупиковых выработок,  $m^3/мин$ ;  $\Sigma Q_{пог.в}$  – сумма расходов воздуха для обособленного проветривания погашаемых выработок,  $m^3/мин$ ;  $\Sigma Q_{под.в}$  – сумма расходов воздуха для обособленного проветривания поддерживаемых выработок,  $m^3/мин$ ;  $\Sigma Q_k$  – сумма расходов воздуха для обособленного проветривания камер,  $m^3/мин$ . Шахты относятся к легкопроветриваемым при значении  $n_{уд} < 2,5$ ; к средней трудности проветривания - при  $n_{уд}$  от 2,5 до 5 и к труднопроветриваемым - при  $n_{уд} > 5$ .

## 6 ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СЕТИ ШАХТ. РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА В СЕТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

### 6.1 Шахтная вентиляционная сеть

*Шахтная вентиляционная сеть* (ШВС) представляет собой совокупность соединённых между собой подземных горных выработок, по которым движется воздушный поток; путей утечек воздуха, источников тяги и вентиляционных сооружений и устройств. Суммарная протяжённость выработок действующей шахтной вентиляционной сети достигает иногда 200 км. Протяжённость маршрутов с начала вентиляционной сети в её конец через наиболее удалённый выемочный участок доходит до 15 км. Ознакомимся с основными определениями и закономерностями вентиляционных сетей. Места соединения трёх и более выработок называют *узлами* сети. Выработка, соединяющая 2 узла называется *ветвью*. Часть схемы, ограниченная со

всех сторон ветвями и не содержащая ветвей внутри себя, называется *контуром* или *ячейкой*. Количество ветвей ШВС Донбасса колеблется от нескольких десятков до 1500 и более. Основное число шахт (до 70%) имеют 100-400 ветвей.

*Закон сохранения массы* (расхода) гласит: сумма расходов воздуха (массовых, объёмных), подходящих к узлу, должна быть равна сумме расходов, уходящих от узла, т. е. в общем виде

$$\sum Q_i = 0, \quad (6.1)$$

где  $i$  – подходящие к узлу ветви. Это соотношение называют ещё *первым законом сетей*.

*Закон сохранения энергии*: алгебраическая сумма депрессий всех ветвей замкнутого контура равна нулю при отсутствии в нём источника энергии, т. е.

$$\sum h_i = 0 \quad (6.2)$$

Объясняется это однозначностью давления в любой точке сети, в силу чего общее падение давления в замкнутом контуре равно нулю. Это соотношение называют ещё *вторым законом сетей*. Если в контуре имеются источники энергии, то суммарная потеря энергии в контуре будет равна энергии, поступающей от этих источников. При этом необходимо соблюдать правило знаков: потоки, совпадающие с направлением обхода контура, выбранного произвольно, берут с положительным знаком (+), а идущие в обратном направлении – с отрицательным знаком (-). Законы ШВС тождественны законам Кирхгофа для электрических сетей.

Современные шахты представляют собой сложную вентиляционную сеть горных выработок, состоящую из всевозможных сочетаний последовательно, параллельно и диагонально соединённых выработок. Для решения целого ряда вопросов проветривания шахт (регулирования распределения воздуха в сети, расчёт значений параметров сети вентиляционных участков и др.) требуется вентиляционную сеть по параметрам ( $Q$ ,  $h$ ,  $R$ ) представить в виде как бы одной мнимой выработки, для чего необходимо уметь решать задачи для элементарных вентиляционных соединений.

*Последовательным* называется такое соединение горных выработок, при котором вентиляционный поток последовательно омывает примыкающие друг к другу одну выработку за другой, не разветвляясь. Примером последовательного соединения горных выработок может быть проветривание одиночного выемочного участка, а именно: уклон, откаточный штрек, лава, вентиляционный штрек и людской ходок.

Под *схемой вентиляции* (проветривания) понимают немасштабное схематическое изображение расположения горных выработок, служащих для подвода свежего (поступающего) и отвода отработанного (исходящего) воздуха. Схема проветривания выполняется в аксонометрии. *Схемой вентиляционных соединений* называют упрощённое схематическое изображение путей движения воздушного потока по горным выработкам и через неплотности в вентиляционных устройствах и выработанных пространствах.

Рассматривая закономерности соединений мы должны уметь определять общие значения  $Q_{\text{общ}}$ ,  $h_{\text{общ}}$ ,  $R_{\text{общ}}$  по известным значениям  $Q_i$ ,  $h_i$ ,  $R_i$  отдельных ветвей соединений. Из определения последовательного соединения следует, что

$$Q_{\text{посл}} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n,$$

т. е. 
$$Q_{\text{посл}} = Q_i \quad (6.3)$$

Следовательно, расход воздуха в последовательно соединённых выработках постоянен. Затрата энергии на перемещение  $1\text{ м}^3$  воздуха по сети последовательно соединённых выработок или разность полных давлений между конечными точками соединения складывается из затрат энергии (полных давлений) на отдельных участках сети:

$$h_{\text{посл}} = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \Sigma h_i, \quad (6.4)$$

т. е. общая депрессия последовательно соединённых выработок равна сумме депрессий ветвей сети. Но  $h = RQ^2$ , тогда, исходя из уравнения (6.4),  $R_{\text{посл}}Q_{\text{посл}}^2 = \Sigma R_i Q_i^2$ . Учитывая, что  $Q_{\text{посл}} = Q_i$ , получим

$$R_{\text{посл}} = \Sigma R_i, \quad (6.5)$$

т. е. общее аэродинамическое сопротивление последовательно соединённых выработок равно сумме сопротивлений отдельных выработок соединения.

*Параллельным* ( // ) называется соединение, в котором выработки по вентиляционному потоку имеют общие точки в начале и конце соединения, т. е. в какой-то одной точке поток разветвляется, а затем в какой-то другой точке сходится. При этом никаких других общих точек или выработок, соединяющих ветви соединения, нет. Параллельное соединение может быть простым, когда соединяются 2 выработки, и сложным, когда объединяются потоки 3 и более выработок. Оно может быть замкнутым и открытым. Типичным примером простого параллельного соединения является схема вентиляции участков при двукрылой разработке шахтного поля.

Найдём общие значения  $Q_{\text{общ}}$ ,  $h_{\text{общ}}$ ,  $R_{\text{общ}}$  по известным составляющим  $Q_i$ ,  $h_i$ ,  $R_i$  ветвей соединения. Из определения параллельного соединения вытекает, что

$$Q_{\text{пар}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n,$$

т. е. 
$$Q_{\text{пар}} = \Sigma Q_i \quad (6.6)$$

Для установления значения  $h_{\text{общ}}$  вспомним определения депрессии: 1) депрессия – это затрата энергии на перемещение  $1 \text{ м}^3$  воздуха по сети горных выработок; 2) депрессия – это *разность полных давлений воздуха* в двух сечениях выработок сети, депрессия которых нас интересует. Возьмём 2 точки соединения, в которых вентиляционный поток разветвляется и сходится. Каждая из общих точек принадлежит одновременно обеим ветвям соединения, а в одной и той же точке в заданный момент времени не может существовать 2 различных давления, поэтому разность полных давлений в общих точках (в начале и конце соединения) одинакова для каждой ветви соединения и равна общей разности полных давлений соединения

$$h_{\text{пар}} = h_1 = h_2 = \dots = h_n,$$

т. е. 
$$h_{\text{пар}} = h_i \quad (6.7)$$

Следовательно, в параллельном соединении депрессии отдельных ветвей не зависят от их длины (L), сечения (S), аэродинамического сопротивления (R), расхода воздуха (Q) и равны между собой. Подставив вместо  $h$  его выражение через R и Q в уравнение (6.7), получим  $R_{\text{пар}}Q_{\text{пар}}^2 = R_i Q_i^2$ , т. е. увеличение сопротивления автоматически уменьшает расход воздуха, и наоборот: уменьшение R приводит к увеличению Q, но произведение  $R_i Q_i^2$  всегда постоянно для заданных условий. Из уравнения  $h = RQ^2$  найдём  $Q = \sqrt{h/R}$ , подставим его значение в формулу  $Q_{\text{пар}} = \Sigma Q_i$  (6.6) и получим  $\sqrt{h_{\text{пар}}/R_{\text{пар}}} = \Sigma \sqrt{h_i/R_i}$ . Учитывая равенство (6.7) и сократив в обеих частях уравнения на  $h$  находим выражение для определения общего значения  $R_{\text{пар}}$

$$1/\sqrt{R_{\text{пар}}} = \Sigma 1/\sqrt{R_i} \quad (6.8)$$

Так для «n» параллельных выработок при  $R_i = \text{const}$  и равных друг другу  $R_{\text{пар}} = R_i/n^2$  т. е. общее сопротивление ( // ) соединённых выработок уменьшается в  $n^2$  раз.

*Диагональным* называется соединение, в котором выработки, кроме 2 общих точек в начале и конце соединения, имеют 1 или несколько дополнительных выработок, связывающих ветви соединения. Выработки, соединяющие ветви соединения, называют *диагоналями*. Примерами диагонального соединения могут быть: проветривание 2 спаренных лав при

отработке пласта по восстанию, 3 лав при отработке по простиранию и свиты крутопадающих пластов.

При одной диагонали соединение называется простым, а при нескольких – сложным. На шахтах Донбасса в среднем 85% ветвей вентиляционных сетей шахт являются диагоналями, причём 26% из них соединяют потоки разного знака. Около 10% всех диагоналей - объекты проветривания (очистные, подготовительные забои, камеры и т. д.). Характерной особенностью диагонального соединения есть то, что расход воздуха и направление движения его в диагоналях могут меняться в зависимости от изменения соотношения сопротивлений в отдельных ветвях соединения. При этом, если  $R_1/R_5 = R_4/R_3$ , то расход воздуха в диагонали  $Q_2 = 0$ ; если  $R_1/R_5 > R_4/R_3$ , то воздух движется в одном направлении ( $B \rightarrow A$ ); если  $R_1/R_5 < R_4/R_3$ , то воздух движется в противоположном направлении ( $A \rightarrow B$ ). Обратите внимание, что значение сопротивления диагонали не оказывает влияния на направление движения воздуха в ней. Депрессия диагонального соединения, как и при ( // ) соединении по любому из направлений будут равны между собой. Аналитические расчёты диагонального соединения сложны, поэтому они выполняются с помощью ЭВМ. Очень опасны диагонали при наличии пожара в одной из ветвей соединения, так как возможно опрокидывание потока воздуха диагонали, в которой находятся люди.

В практике проветривания шахт существует смешанное соединение выработок, т. е. комбинация рассмотренных выше соединений: последовательного, параллельного и диагонального, расчёты параметров которого производятся на ЭВМ. При расчётах вентиляционных сетей на ЭВМ применяется в основном метод последовательных приближений, сущность которого сводится к определению действительных значений расходов воздуха в отдельных ветвях сети путём многократного определения значений невязки суммы депрессий в каждом независимом контуре сети и приведении её к нулю

Способность вентиляционной сети сохранять заданное направление движения воздуха в диагоналях при возможных изменениях аэродинамических сопротивлений ветвей сети за рассматриваемый период времени называют устойчивостью проветривания. Детальный расчёт устойчивости проветривания осуществляется только с помощью ЭВМ.

## 6.2 Регулирование распределения воздуха в сети горных выработок

Воздух, поступающий в шахту под действием создаваемой вентилятором главного проветривания (ВГП) депрессии, распределяется по отдельным выработкам обратно пропорционально  $\sqrt{h/R}$ , т. е.  $Q = \sqrt{h/R}$ . Такое распределение воздуха в вентиляционной сети называется *естественным*. Однако, естественное распределение воздуха в сети практически не совпадает с фактической потребностью в воздухе отдельных потребителей (очистных и тупиковых выработок, камер, обособленно проветриваемых выработок и т. п.). Расход воздуха для проветривания отдельных объектов рассчитывается по целому ряду факторов: газовыделению, числу людей, газам, образующимся при взрывных работах, и т. д., т. е. потребность в расходе воздуха определяется из необходимости создания в шахтах нормальных санитарно-гигиенических условий труда для горняков. Поэтому необходимость регулирования расхода воздуха в вентиляционной сети возникает ещё в момент составления проекта вентиляции шахты и обнаруживается по неравенству депрессий параллельных потоков воздуха или неравенству нулю алгебраической суммы депрессий в любом замкнутом контуре. В момент же ведения горных работ, когда непрерывно изменяются: длины путей следования воздуха, аэродинамическое сопротивление выработок, глубина работ, газообильность, температура воздуха, без регулирования расхода воздуха нельзя подать необходимый расход для проветривания шахты и её отдельных потребителей.

Расход воздуха для проветривания шахты регулируют с помощью ВГП. Различают по устройству и принципу действия осевые и центробежные вентиляторы. Это турбомашины с большой скоростью вращения рабочего колеса.

При применении *осевых ВГП* регулирование расхода воздуха осуществляется изменением частоты вращения привода электродвигателя ( $n$ ), угла установки лопаток рабочего колеса ( $\Theta$ ) и шибера, т. е. с помощью дросселирования – уменьшения сечения потока воздуха

заслонкой, установленной в канале вентилятора. При использовании *центробежных ВГП* регулирование  $Q_v$  производится изменением частоты вращения ( $n$ ), угла установки лопаток направляющего аппарата и закрылок лопаток рабочего колеса и шибером. Однако регулирование  $Q_v$  с помощью шибера экономически невыгодно, так как он увеличивает сопротивление, а следовательно уменьшает расход воздуха при большой затрате энергии. Увеличение расхода воздуха шахты желательно достигать путём уменьшения общего аэродинамического сопротивления шахты и сокращения утечек воздуха.

Регулирование распределения расхода воздуха в отдельных выработках и соединениях вентиляционной сети шахты осуществляется путём изменения аэродинамического сопротивления ветвей. Способы регулирования  $Q$  подразделяются на положительные и отрицательные. *Положительное регулирование* достигается за счёт уменьшения аэродинамического сопротивления ветвей ( $R_{ветв}$ ) соединения или путём установки в них дополнительных источников тяги. Уменьшить  $R_{ветв} = \alpha UL/S^3$  для конкретной действующей выработки можно лишь путём уменьшения коэффициента аэродинамического сопротивления ( $\alpha$ ) или благодаря увеличению площади сечения ( $S$ ) выработки, по которой надо пропустить больший  $Q$ . Это эффективный, но практически в полной мере не осуществляемый способ регулирования расхода воздуха в ветвях соединений. *Отрицательное регулирование* осуществляется путём увеличения  $R_{ветв}$ . В той ветви, где нужно уменьшить  $Q$ , устанавливают вентиляционное окно, при этом в другой ветви ( $//$ ) соединения расход воздуха увеличится. Потеря энергии в вентиляционном окне обусловлена ударом потока о переднюю часть перемычки и отрывом воздуха от твёрдых границ потока на выходе из окна. Известен из литературных источников способ отрицательного регулирования распределения воздуха с помощью воздушных завес. Отрицательное регулирование  $Q$  приводит к увеличению  $R_{шахт}$  в целом, а, следовательно, к уменьшению  $Q_{ш}$  в целом. В среднем на одну шахту приходится 8 регуляторов, которые расположены: в главных общешахтных выработках – 5%, в поддерживаемых выработках – 30%, на выемочных участках – 28%, в камерах – 23%.

Расчёт шахтных вентиляционных сетей осуществляется только с помощью ЭВМ по специально созданным программным комплексам.

## 7 ЕСТЕСТВЕННАЯ ТЯГА ВОЗДУХА В ШАХТАХ. РАБОТА ВЕНТИЛЯТОРОВ НА ШАХТНУЮ СЕТЬ. УТЕЧКИ ВОЗДУХА В ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЯХ

### 7.1 Естественная тяга воздуха в шахтах

Одной из особенностей проветривания шахт является наличие в большинстве случаев движения воздуха в выработках при отсутствии механических средств его передвижения. Движение воздушного потока по выработкам шахт под влиянием естественных причин, главной их которых является различие в плотностях воздуха в вертикальных и наклонных выработках, именуют *естественной тягой*. Энергия, которую получает  $1\text{ м}^3$  воздуха от источников, вызывающих естественную тягу, называют *депрессией естественной тяги* ( $h_e$ ). С момента возникновения горного промысла и до второй половины XIX в. (в 1832 г генерал-лейтенант корпуса горных инженеров А.А.Саблуков изобрёл центробежный вентилятор) проветривание шахт осуществлялось исключительно естественной тягой, возникающей в шахте за счёт различных плотностей воздуха в сообщающихся между собой вертикальных и наклонных выработках. Для усиления естественной тяги применялся искусственный подогрев воздуха в одном из шахтных стволов при помощи жаровен, заполненных горящим углем, печей и костров. В настоящее время ПБ запрещают проветривание шахт только за счёт естественной тяги ввиду её неустойчивости по расходу воздуха и по направлению. Однако, поскольку естественная тяга проявляется и при работе вентиляторов, её влияние необходимо учитывать, а для этого нужно уметь её измерять на действующих шахтах и рассчитывать при проектировании вентиляции. В зависимости от конкретных условий депрессия естественной тяги ( $h_e$ ) может достигать 20 – 25% депрессии шахты ( $h_{ш}$ ). В ряде случаев расход воздуха за счёт естественной тяги достигает  $70\text{--}100\text{ м}^3/\text{с}$ .

Причиной естественной тяги является разность давлений в двух сообщающихся в вертикальных и наклонных выработках столбах воздуха. При различных высотных отметках устьев стволов следует сравнивать давления столбов воздуха равной высоты, т. е. суммы приращений глубин выработок с нисходящим и восходящим потоками движения воздуха должны быть равными. Естественная тяга обусловлена различными средними значениями плотностей воздуха в вертикальных и наклонных выработках. Следовательно, естественная тяга имеет место лишь в том случае, когда средние плотности двух сообщающихся вертикальных столбов воздуха различны. При этом воздух движется от более плотного к менее плотному. Это же направление имеет и  $h_e$ . Теорию естественной тяги впервые разработал М.В.Ломоносов в 1742 г и изложил в трактате «О вольном движении воздуха в рудниках примеченном».

Плотность воздуха зависит от давления (Р), температуры (Т) и влажности. Определяющим фактором является температура воздуха. При этом основную роль играет теплообмен воздуха с горными породами. Влияние давления ничтожно, так как оно колеблется в незначительных пределах ( $\pm 3\%$ ). Относительная влажность в шахте практически постоянна ( $\varphi = 90-100\%$ ). Значение депрессии естественной тяги в неглубоких шахтах изменяется в течении года, как по величине, так и по направлению: зимой оно положительно («+» $h_e$ ), так как плотность поступающего потока воздуха больше плотности исходящего потока ( $\rho_{\text{пост}} > \rho_{\text{исход}}$ ); а летом – отрицательно («-» $h_e$ ) в силу обратного соотношения плотностей воздуха в поступающем и исходящем потоках ( $\rho_{\text{пост}} < \rho_{\text{исход}}$ ). В глубоких шахтах величина  $h_e$  всегда положительна так как и зимой, и летом температура исходящего потока воздуха больше поступающего.

Расчёт депрессии естественной тяги производится главным образом при проектировании шахт. Пользуются в основном двумя способами: гидростатическим методом расчёта, предложенным М.В.Ломоносовым, и термодинамическим методом, именуемым методом А.Ф.Воропаева. При *гидростатическом методе расчёта депрессия естественной тяги* по какому-либо вентиляционному потоку (по замкнутому контуру выработок) определяется как разность давлений столбов воздуха (суммарных приращений давлений) с нисходящим и восходящим движением:

$$h_e = g (\sum \rho_{\text{иср}} H_{\text{ни}} - \sum \rho_{\text{жр}} H_{\text{вж}}), \quad (7.1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $\rho_{\text{иср}}$  и  $\rho_{\text{жр}}$  – средняя плотность воздуха, соответственно, в столбах его с нисходящим и восходящим потоком движения,  $\text{кг/м}^3$ ;  $H_{\text{ни}}$  и  $H_{\text{вж}}$  – высота, соответственно, нисходящих и восходящих потоков воздуха, м. Если результат расчёта получится положительным (+ $h_e$ ), то естественная тяга помогает работе вентилятора, а если – отрицательный (- $h_e$ ), то естественная тяга противодействует его работе. Гидростатический метод расчёта  $h_e$  осложняется трудностью точного определения средних значений плотностей воздуха в выработках.

Более простым является *термодинамический метод расчёта  $h_e$*  (А.Ф.Воропаева). Метод основан на том положении, что естественная тяга обусловлена работой, совершаемой в результате притока тепла к шахтному воздуху на пути его движения по горным выработкам. Эта работа по какому-либо направлению вентиляционного потока от поступления до выхода из шахты, т. е. по замкнутому контуру выработок, может быть определена по индикаторной диаграмме замкнутого цикла изменения состояния воздуха. Для определения  $h_e$  по этому методу необходимо в координатах Н -  $T_v$  (глубина - температура) нанести значения температур воздуха ( $T_v$ ) в начале и конце выработок от устья воздухоподающего до устья воздухоотводящего ствола. При этом проводят горизонтальную плоскость через устье ствола, имеющего большую высотную отметку, от которой ведут расчёт  $h_e$  в воздушных столбах. Получается диаграмма изменения состояния воздуха в шахте. Измерив площадь полученной фигуры (S) и определив температуру центра тяжести её ( $T_{\text{ц}}$ ), находится значение  $h_e$

$$h_e = S \rho_{\text{ср}} g / T_{\text{ц}} \quad (7.2)$$

По контуру фигуры необходимо проставить направление движения воздушного потока. Если движение воздуха по контуру направлено против часовой стрелки, то естественная тяга имеет

положительное значение ( $+h_e$ ), т. е. помогает работе вентилятора, а если по часовой стрелке – отрицательное ( $-h_e$ ) – т. е. естественная тяга мешает, противодействует его работе.

Для измерения депрессии естественной тяги теоретически необходимо остановить вентилятор и перекрыть вентиляционный поток в одной из выработок, по которой проходит расход воздуха шахты ( $Q_{ш}$ ), и быстро произвести измерение перепада давления по обе стороны перемычки с помощью депрессиометра или микроманометра. В качестве перемычки часто используют шибер. Практически, в связи с необходимостью остановки ВГП, на газовых шахтах этот способ замера  $h_e$  не применяется. Депрессию естественной тяги шахты можно определить путём замера подачи воздуха в шахту  $Q_1$  и  $Q_2$  и депрессии вентилятора  $h_{в1}$  и  $h_{в2}$ . Изменения  $h_e$  необходимо производить перед шибером, так как  $R_{ш}$  должно оставаться постоянным. При этом

$$h_e = [h_{в2}(Q_1/Q_2)^2 - h_{в1}] / [1 - (Q_1/Q_2)^2] \quad (7.3)$$

## 7.2 Работа вентиляторов на шахтную сеть

*Характеристикой вентилятора* называется график зависимости развиваемого вентилятором статического давления ( $h_b$ ) от расхода воздуха ( $Q_b$ ). Строится характеристика вентилятора на основании измеренных при испытаниях на заводе-изготовителе вентилятора значений  $h_b$  и  $Q_b$ . Обычно на график  $h_b = f(Q_b)$  наносят кривые зависимости к. п. д. от расхода воздуха вентилятора –  $\eta = f(Q_b)$ . Каждый тип вентилятора имеет свою характеристику.

График зависимости  $h = RQ^2$ , где все величины, входящие в неё ( $h$ ,  $R$  и  $Q$ ), взяты для конкретных условий определённой шахты, называется *характеристикой вентиляционной сети* шахты. Она представляет собой параболу. Строится характеристика вентиляционной сети по заданным для конкретной шахты значениям  $h_{ш}$  и  $Q_{ш}$ . Для чего определяется значение  $R_{ш} = h_{ш}/Q_{ш}^2$  и по заданным произвольным значениям  $Q_i$  и вычисленному  $R_{ш}$  определяются значения  $h_i = R_{ш} Q_i^2$ . В координатах  $h - Q$  наносят на график точки, соответствующие парным значениям  $h_i$  и  $Q_i$ , и соединяют их плавной кривой. Чем большее значение имеет  $R_{ш}$ , тем круче характеристика вентиляционной сети.

Фактический *режим работы вентилятора* определяется совместным решением уравнений вентиляционной сети и вентилятора, т. е. точкой пересечения графиков характеристик вентиляционной сети и вентилятора. *Область промышленного использования* вентиляторных установок – это покрываемое вентиляторной установкой поле вентиляционных режимов шахт.

На 70% шахт Донбасса применяется одновременно по 2 и более вентиляторов главного проветривания (ВГП). Различают последовательную, параллельную и комбинированную работу ВГП на вентиляционную сеть шахт. При последовательной работе ВГП диффузор одного вентилятора соединяется со всасом другого или непосредственно, или через систему выработок (диффузор – выход вентилятора, всас – вход воздуха в вентилятор). Очевидно, что при последовательном соединении их расходы воздуха равны, так как один и тот же расход воздуха проходит вначале через первый, затем через второй вентилятор:

$$Q_1 = Q_2 = Q_{общ}, \quad (7.4)$$

а общая энергия, получаемая воздухом от вентиляторов складывается:

$$h_{посл} = h_1 + h_2 \quad (7.5)$$

Из этих уравнений следует, что для получения суммарной характеристики последовательно соединённых вентиляторов следует сложить их индивидуальные характеристики по депрессии, т. е. по ординатам. К произвольным точкам ординат одного ВГП прибавляем ординаты второго. Полученные точки соединяем кривой, которая является суммарной характеристикой последовательного соединения ВГП. Последовательная работа вентиляторов рациональна при большом аэродинамическом сопротивлении шахты. Если шахта имеет сравнительно малое  $R_{ш}$ , то последовательная работа ВГП невыгодна и даже убыточна, так как меньший вентилятор

оказывает сопротивление для большего. Всегда рациональна и выгодна последовательная работа одинаковых вентиляторов, работающих на одну сеть.

При параллельной работе вентиляторов и расположении вентиляторов в одной точке вентиляционной сети, т. е. у одного из стволов, можно считать, что всасы соединены в одной точке - в устье вентиляционного ствола и в одной точке соединены и диффузоры. В этом случае

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2, \quad (7.6)$$

$$h_{\text{общ}} = h_1 = h_2, \quad (7.7)$$

т. е. полная разность давлений воздуха на всасе и выходе будет одинаковой. Следовательно, для построения суммарной характеристики параллельно соединённых вентиляторов следует суммировать характеристики вентиляторов по расходам воздуха, т. е. по линиям  $h = \text{const}$ . При построении суммарной характеристики следует учитывать как положительные, так и отрицательные значения расходов воздуха. Параллельная работа ВГП выгодна, т. е. экономически целесообразна, лишь при малых значениях аэродинамического сопротивления вентиляционной сети. При больших значениях  $R_{\text{ш}}$  большой ВГП засасывает часть воздуха через меньший вентилятор. Всегда рациональной является параллельная работа двух одинаковых вентиляторов.

При рассмотрении совместной работы естественной тяги и вентилятора принимают депрессию естественной тяги не зависящей от расхода воздуха. Депрессия естественной тяги ( $h_e$ ) называется положительной ( $+h_e$ ), если она действует в том же направлении, что и вентилятор, и отрицательной ( $-h_e$ ), если действует противоположно. Совместное действие вентилятора и естественной тяги определяется путём алгебраического суммирования их депрессий при постоянном расходе воздуха. Расход воздуха, поступающий в шахту, определится абсциссой точки пересечения суммарной характеристики вентилятора и естественной тяги с характеристикой вентиляционной сети шахты. При выборе ВГП необходимо учитывать естественную тягу, т. е.

$$h_b = h_{\text{сопр}} \pm h_e, \quad (7.8)$$

где  $h_{\text{сопр}}$  – депрессия вентиляционной сети шахты, Па.

### 7.3 Утечки воздуха в шахтных вентиляционных сетях

*Утечки воздуха* – это неуправляемое движение воздуха от одного направленного потока к другому, при котором воздушный поток проходит мимо основных мест его потребления, т. е. мимо очистных и подготовительных забоев, камер и обособленно проветриваемых выработок. Это по сути своей потери воздуха на пути движения его к местам его потребления. Они снижают расход воздуха прежде всего в очистных и подготовительных забоях, вследствие чего может увеличиться содержание метана или углекислого газа. Утечки являются причиной самовозгорания угля. На отдельных шахтах суммарное значение утечек достигает 70-80% от производительности ВГП. Для компенсации утечек воздуха в шахту приходится подавать значительно больший расход, чем требуется из условий газового, теплового, пылевого режимов и требований ПБ шахт. Это в свою очередь приводит к дополнительному расходу электроэнергии, который при  $\Sigma Q_{\text{ут}} = (0,6-0,7) Q_b$  составляет 35-40%. Это пустое, сверхнормативное непроизводительное перерасходование электроэнергии.

Классификация утечек: различают *подземные* (внутришахтные) утечки – между отдельными горными выработками; *поверхностные* – подсосы воздуха с поверхности в подземные выработки или, наоборот, потери его через неплотности в вентиляционных сооружениях из подземных выработок в атмосферу; *общешахтные*, - включающие подземные и поверхностные утечки. Некоторые из утечек воздуха представлены на рисунках. Утечки происходят через выработанные пространства, вентиляционные сооружения: двери, кроссинги,



перемычки; в параллельных выработках и вентиляционных трубопроводах. По характеру утечки делятся на *местные* (сосредоточенные), *непрерывно распределённые* и *комбинированные*. Местные утечки сосредоточены в отдельных местах вентиляционной сети. Это утечки, как правило, через вентиляционные сооружения: двери, кроссинги, перемычки, шлюзы и т. д. Непрерывно распределённые утечки рассредоточены по всей своей длине. К ним относятся утечки через выработанное пространство, бутовые полосы, продольные перегородки и т. д. Комбинированные утечки включают в себя как местные, так и непрерывно распределённые. К ним относятся утечки в параллельных выработках и в вентиляционных трубопроводах.

Утечки воздуха измеряются как в абсолютных величинах ( $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ), так и в относительных (% , доля единицы от начального расхода –  $Q_{\text{нач}}$  то ли подаваемого в шахту, то ли в начало выработки).

Режим движения воздуха при утечках может быть: турбулентным в крупных трещинах и щелях в вентиляционных сооружениях; ламинарным через пористую, фильтрационную среду, например, через хорошо уплотнённое выработанное пространство; промежуточным, когда наблюдается одновременно и турбулентное и ламинарное движение в местах примыкания вентиляционного сооружения к породам. В соответствии с этим при утечках возможен: квадратичный ( $h = RQ^2$ ), линейный ( $h = RQ$ ) и промежуточный ( $h = R_1Q + R_2Q^2$ ) закон сопротивления, где  $R_1$  и  $R_2$  – линейная и квадратичная составляющие аэродинамического сопротивления путей утечек.

При утечках воздушный поток движется по направлению параллельному основному потоку, т. е. создаются параллельные ветви в вентиляционной сети шахты, что приводит к уменьшению её аэродинамического сопротивления ( $R_{\text{общ}}$ ): при  $R_i = \text{const}$   $R_{\text{общ}} = R/n^2$  т. е. общее сопротивление параллельно соединённых выработок в  $n^2$  меньше сопротивление одной ветви соединения. А если уменьшается  $R$ , то должно увеличиваться  $Q$ , поступающее в шахту. Это действительно так, но расход воздуха, поступающий в забои становится меньше, за счёт увеличения расхода на утечки. С увеличением утечек ( $Q_{\text{ут}}$ ) растёт расход воздуха вентилятора ( $Q_{\text{в}}$ ), однако значительно уменьшается расход воздуха шахты ( $Q_{\text{ш}}$ ).

Существует два основных метода расчёта утечек: аналитический и по нормам утечек. Аналитический метод основан на применении для расчёта формул

$$h = RQ^n = KQ^n, \quad (7.9)$$

где  $R$  – сопротивление изолятора (вентиляционного сооружения, выработанного пространства, параллельных выработок, трубопроводов);  $K$  – воздухопроницаемость – расход воздуха, проходящего в единицу времени через  $1 \text{ м}^2$  сечения изолятора толщиной в  $1 \text{ см}$  при разности давлений по обе стороны изолятора равной  $9,81 \text{ Па}$ .

Расчёт значений утечек по нормам производится по установленным среднестатистическим утечкам через различные изоляторы в зависимости от типа сооружения, его конструкции, материала, размеров, состояния пород, депрессии под которой находится сооружение. Имеются нормы утечек для различных групп околоствольных дворов, перемычек, шлюзов, кроссингов. Утечки суммируются и определяется общее их значение для шахты. Значение утечек воздуха через вентиляционные сооружения, установленные в выработках за пределами выемочных участков, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{ут.ш}} = \Sigma Q_{\text{ут.г}} + \Sigma Q_{\text{ут.шл}} + \Sigma Q_{\text{ут.кр}} + \Sigma Q_{\text{ут.заг}}, \quad (7.10)$$

где  $\Sigma Q_{\text{ут.г}}$  – утечки воздуха в пределах шахты через глухие вентиляционные перемычки,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $\Sigma Q_{\text{ут.шл}}$  – утечки воздуха через шлюзы,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $\Sigma Q_{\text{ут.кр}}$  – утечки воздуха через кроссинги,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $\Sigma Q_{\text{ут.заг}}$  – утечки воздуха через загрузочные устройства,  $\text{м}^3/\text{мин}$ . При расчётах воздухораспределения на ЭВМ утечки определяются в зависимости от сопротивления сооружений и разности давлений по обе его стороны.

Рассмотрим вкратце каждый из видов утечек воздуха в шахте. Через надшахтное здание воздух просасывается через стены фундамента, шлюзы для прохода людей и движения

транспорта, отверстия для подъёмных канатов, щели в окнах. Утечки в канал вентилятора поступают через стенки канала, ляды, соединяющие канал с поверхностью Земли, работающим и резервным ВГП, каналы для реверсирования потока воздуха. В шлюзах воздух проходит через полотно двери, щели по периметру примыкания двери к раме (лутке) и через перемышку по всей площади сечения и места примыкания к породам. В кроссингах воздух уходит через вентиляционные двери, стены и через места прилегания его к породам. В общем случае во всех вентиляционных сооружениях основными местами утечек являются сами вентиляционные сооружения и места примыкания их к окружающим породам. Закон движения воздуха при утечках его в сооружениях может быть от линейного до квадратичного. Через целики угля утечки подчиняются линейному закону, через вентиляционные двери и кроссинги – квадратичному, через глухие перемышки – промежуточному или квадратичному. Определяются утечки обычно путём измерения расходов воздуха перед вентиляционным сооружением и за ним. Для снижения утечек через вентиляционные сооружения следует следить за правильностью их конструктивного исполнения, своевременно ремонтировать и покрывать герметизирующими составами. От кроссингов следовало бы избавиться и заменить их обходными выработками.

Утечки через выработанные пространства на выемочных участках обусловлены разностью давлений воздуха в воздухоподающих и вентиляционных выработках. Они составляют от 10% до 80% от расхода воздуха очистного забоя ( $Q_{оч.заб}$ ). Абсолютное значение утечек воздуха зависит от схемы вентиляции выемочного участка, воздухопроницаемости выработанного пространства, депрессии выработок. Учитываются утечки при расчётах расхода воздуха для проветривания очистного забоя и выемочного участка введением коэффициентов  $K_{оз}$  и  $K_{ут.в}$ , где  $K_{оз}$  – коэффициент, учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства, непосредственно прилегающей к призабойному;  $K_{ут.в}$  – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство в пределах выемочного участка. Утечки определяются как разность расходов воздуха в выработке, где начались утечки и где они прекратились. Для уменьшения утечек воздуха через выработанные пространства следует применять закладку его; при управлении кровлей полным обрушением необходимо использовать достаточно широкие бутовые полосы, эластичные покрытия бутовых полос, уменьшать аэродинамическое сопротивление штреков.

Утечки в параллельных выработках могут достигать 50-70% от расхода воздуха выработки. Они проходят через массив угля и через перемышки. Размер утечек определяется как разность расходов воздуха в начале и конце одной из параллельных выработок. Снижение утечек в параллельных выработках достигается увеличением аэродинамического сопротивления перемычек, расширением целиков (не менее 30x30 м), покрытием герметизирующими составами, уменьшением сопротивления выработок.

Утечки в вентиляционных трубопроводах при нагнетательном способе проветривания происходят через материал труб и через их стыки. При всасывающем способе проветривания притечки воздуха в трубопровод осуществляются в основном через стыки в трубах.

Общетехнические мероприятия по снижению утечек в шахтах: - выбор схем вентиляции, при которых было бы минимальное число вентиляционных сооружений, минимальная протяжённость выработок до забоев, отсутствие встречного параллельного потока воздуха (минимальные внутренние утечки наблюдаются при фланговой схеме проветривания шахты, максимальные – при центральной схеме проветривания); - снижение депрессии шахты; - применение полевых выработок (воздухопроницаемость пород ниже значения её у угля); - качественный ремонт вентиляционных сооружений.

Значимость утечек воздуха в газовых шахтах: утечки могут быть и полезными, и вредными. Вредны утечки, если из-за них газ попадает в забои. Если утечки разбавляют газ до допустимых норм, то они полезны. Оценивать утечки с точки зрения их полезности или вредности необходимо уже после того, как они будут снижены до минимально возможного уровня.

### III ВЕНТИЛЯЦИЯ ШАХТ

#### 8 ПРОВЕТРИВАНИЕ ОЧИСТНЫХ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ И УСТРОЙСТВА. КОНТРОЛЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ. ПЫЛЕВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЛУЖБА

##### 8.1 Проветривание очистных выработок и выемочных участков

Вспомним, что представляют собой схемы вентиляции. Во-первых, изображаются они в аксонометрии. Во-вторых, схемы вентиляции (проветривания) – это немасштабное схематическое изображение расположения горных выработок, служащих для подвода свежего и удаления отработанного потоков воздуха. Схемы должны обеспечивать: устойчивое проветривание, максимальную нагрузку на очистной забой, возможность исключения опасных скоплений метана и применения дегазации, при отработке выбросоопасных пластов подачу свежего потока воздуха к очистным забоям по двум выработкам, полное обособленное разбавление вредностей при температуре пород  $t_p \geq 30$  °С, надёжную изоляцию выработанного пространства при отработке пластов, склонных к самовозгоранию.

Требования к схемам проветривания очистных, подготовительных забоев и выемочных участков: очистные и подготовительные забои должны проветриваться обособленным потоком воздуха; запрещается проветривание через завалы; число пересечений свежих и исходящих потоков воздуха должно быть минимальным; соблюдение требований ПБ по минимальной и максимальной скорости воздуха в выработках; количество вентиляционных сооружений (дверей, перемычек, шлюзов, кроссингов) должно быть минимальным; надлежит исключать самопроизвольное опрокидывание вентиляционных потоков; в газовых шахтах при углах падения пласта более  $10^0$  движение воздушного потока в очистных забоях и на всём дальнейшем пути следования должно быть восходящим. Под выемочным участком подразумевают обособленно проветриваемые: очистной забой и примыкающие к нему подготовительные выработки.

Вспомним источники метановыделения на выемочном участке: - из обнажённых поверхностей пласта в очистном забое и подготовительных выработках участка; - из отбитого угля в забое; - из выработанного пространства (пласты-спутники, вмещающие породы, целики угля, невынимаемые пачки угля).

В дальнейшем схемы проветривания будем изображать упрощённо, т. е. выработки будем показывать одной линией. Рассмотрим классификацию схем проветривания выемочных участков. В зависимости от степени обособленности разбавления вредностей (газ, пыль, теплота) по отдельным источникам поступления в шахтную атмосферу различают 3 типа схем проветривания выемочных участков: 1 – последовательное разбавление вредностей по отдельным источникам поступления; 2 – частично обособленное разбавление вредностей; 3 – полное обособленное разбавление вредностей по отдельным источникам его поступления. Схемы проветривания выемочных участков классифицируются по направлению выдачи исходящего из лавы потока воздуха по участковой выработке. Варианты схем условно обозначаются: *B* – на выработанное пространство; *M* – на массив угля; *K* – комбинированное, т. е. и на массив угля, и на выработанное пространство. По зависимости или независимости проветривания очистных выработок одной от другой схемы проветривания выемочных участков классифицируются: *H* – независимое проветривание; *З* – зависимое. Различают схемы проветривания по направлению движения воздуха в очистных выработках: *в* – восходящее; *н* – нисходящее, *г* – горизонтальное. По взаимному направлению свежего и исходящего потоков воздуха на выемочном участке схемы подразделяются на: *вт* – возвратноточные; *пт* – прямоточные. Область эффективного применения схем проветривания выемочных участков: - 1 тип схем, если нагрузка на очистной забой ( $A_{max}$ ) не ограничивается газовым фактором; - нисходящее движение воздуха в очистных забоях – на глубоких шахтах; - схемы 2 типа, если затруднительно применение схем 3 типа; схемы 2-М допускаются применять только в негазовых шахтах.

## 8.2 Проветривание тупиковых подготовительных выработок

Подготовительные выработки при их проведении проветриваются за счёт работы вентилятора главного проветривания (ВГП), т. е. за счёт общешахтной депрессии или с помощью вентиляторов местного проветривания (ВМП). Проветривание тупиковых выработок необходимо для удаления выделяющихся газов из полезного ископаемого и пород, разжижения ядовитых продуктов разложения взрывчатых веществ (ВВ) при взрывных работах, выноса пыли, нормализации тепловых условий и для дыхания людей. Для вентиляции забоев проводимых выработок с помощью энергии главного вентилятора (за счёт  $h_{общ}$ ) применяют *продольные перегородки*.

В качестве материала могут использовать прорезиненную ткань и всякий трубный материал (полиэтилен, капрон, нейлон, ЧЛХВ, ПВХ, винилискожа). Закрепляют его к стойкам (ремонтинам), установленным вдоль выработки. Достоинства: быстрота сооружения, низкая стоимость. Недостатки: загромождается выработка, большие утечки, по ПБ можно проветривать тупиковые выработки длиной  $\leq 60$  м.

Более удобен способ подвода свежего воздуха с помощью *вентиляционных труб* и перемычки в примыкающей выработке.

Трубы не загромождают выработку и для их подвески не требуется много времени. Проветривание выработок с помощью продольных перегородок и труб за счёт общешахтной депрессии применяют при сравнительно небольшой длине выработок ( $\leq 60$  м). В качестве вспомогательных средств проветривания допускается применение эжекторов – это струйные аппараты, в которых для отсасывания газов используется кинетическая энергия другого газа или другой части его.

При проветривании выработок за счёт общешахтной депрессии в случае проведения выработок по пластам узким забоем с целью увеличения проветриваемой длины тупиковой выработки можно проводить *параллельные выработки* для исходящего потока воздуха, сбиваемые с основной выработкой через промежутки не более 30 м печками (просеками). При этом перемычки могут устанавливаться на воздухоподающей или воздухоотводящей выработке, т. е. воздух поступает или к забоям или от забоев по трубам. Для соединения парных выработок могут применяться скважины большого диаметра. Эти способы применяются при необходимости подачи больших расходов воздуха, которые не в состоянии подать вентиляторы местного проветривания.

По мере проведения новых печей (просеков) старые должны изолироваться постоянными перемычками, покрываемыми воздухо непроницаемыми составами. Проветривание тупиков (за последней печью) параллельных выработок и сбоек между ними за счёт общешахтной депрессии должно осуществляться с помощью вентиляционных труб длиной не более 60 м.

Проветривание тупиковых выработок с помощью вентиляторов местного проветривания (ВМП) осуществляется в зависимости от условий следующими способами: нагнетательным, всасывающим или комбинированным. При *нагнетательном способе проветривания* выработок ВМП устанавливается в выработке со свежим потоком воздуха перед устьем проводимой выработки, считая по ходу вентиляционного потока. Вентилятор создаёт избыточное давление свежего воздуха, за счёт чего он движется по трубопроводу к забою. Этот способ наиболее распространён в шахтах, а на газовых - является обязательным.

*Требования к проветриванию тупиковых выработок:* - ВМП должны работать непрерывно; - выработки длиной более 200 м, проводимые по угольному пласту, в газовых шахтах III категории и выше, должны оборудоваться резервными ВМП с электропитанием от отдельных подстанций, а выработки длиной до 200 м допускается оборудовать резервными ВМП с электропитанием от резервного пускателя; - ВМП устанавливается на расстоянии не менее 10 м от исходящего потока; - не допускается ПБ установка ВМП в очистных выработках;

- подача ВМП не должна превышать 70% расхода воздуха в выработке в месте его установки; - в шахтах, опасных по газу, не допускается проветривание двух и более выработок при помощи одного трубопровода с ответвлением; - расстояние от конца вентиляционных труб до забоя в газовых шахтах не должно превышать 8 м, а в негасовых – 12 м; - в конце гибких трубопроводов должны навешиваться трубы из жёсткого материала длиной не менее 2 м или аккумуляторы вентиляционных труб; - тупиковые выработки газовых шахт не допускается проветривать за счёт диффузии, исключая тупики до 6 м; - в негасовых шахтах допускается проветривание за счёт диффузии тупиков до 10 м; - не допускается установка ВМП с электрическими двигателями в выработках с исходящим потоком воздуха на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа.

Достоинства нагнетательного способа проветривания тупиковых выработок: деятельное проветривание забоя; возможность применения в газовых шахтах; использование удобных в эксплуатации и относительно дешёвых гибких трубопроводов; отсутствуют подсосы воздуха в трубопровод из выработки. Недостатки: по выработке на всей её длине движется отработанный поток воздуха; большие аэродинамическое сопротивление трубопровода и утечки воздуха в нём.

При всасывающем способе проветривания тупиковой выработки ВМП устанавливается в выработке на свежем потоке воздуха за устьем проводимой выработки. Свежий поток воздуха движется по выработке, а исходящий – по трубопроводу.

Вентилятор создаёт разрежение, за счёт которого всасывается отработанный воздух в трубопровод и выдаётся из выработки. Требования ПБ прежние. Применяются металлические или пластмассовые вентиляционные трубопроводы. Достоинства: по выработке идёт свежий поток воздуха; небольшие сопротивление трубопровода у утечки воздуха. Недостатки: не может применяться на газовых шахтах, так как воздушный поток омывает электродвигатель ВМП; не интенсивно проветривается грудь забоя; используются неудобные в обращении жёсткие трубопроводы.

Технически более совершенным является *комбинированный способ проветривания* тупиковых выработок, который сочетает преимущества одного и другого способа (деятельное проветривание забоя, по выработке идёт свежий поток воздуха).

Условия применения: только на негасовых шахтах; при применении переключки подача ВМП, работающего на всасывание, принимается на 10% выше нагнетающего воздух ВМП; при отсутствии переключки подачу всасывающего ВМП следует принимать на 30% больше нагнетающего. Достоинство: быстрое и интенсивное проветривание выработки. Недостатки: нельзя применять на газовых шахтах; необходимость использования двух ВМП и двух трубопроводов.

Для проветривания выработок большой протяжённости вследствие больших аэродинамических сопротивлений трубопроводов и утечек воздуха используют совместную работу нескольких ВМП: для увеличения расхода воздуха ( $Q$ ) применяют их параллельную работу, а для увеличения напора ( $h$ ) – последовательную работу ВМП. А иногда и то, и другое. Кафедрой рудничной вентиляции ДПИ (ныне ДонНТУ) предложен комбинированный вентиляционный трубопровод со специальной электропроводной плёнкой отрезками длиной до 200 м.

Используя комбинированный трубопровод можно проветривать выработки длиной до 2,5 км. При этом аэродинамическое сопротивление уменьшается примерно в 2 раза, а утечки – в 7-18 раз.

### 8.3 Вентиляционные сооружения и устройства

Вентиляционные сооружения и устройства необходимы для пропуска воздуха, регулирования распределения его в вентиляционной сети шахт и для изоляции вентиляционных потоков. Для пропуска воздуха используются каналы вентиляторов и кроссинги. Иногда к этой

же группе сооружений относят замерные станции. *Канал вентилятора* предназначен для соединения шахтного ствола с вентиляторной установкой, т. е. для пропуска и для изменения направления воздушного потока (реверсирования) в аварийных условиях. Каналы могут быть углублёнными в землю и наружными. Конструкция их определяется типом и размером ВГП, способами проветривания шахт и реверсирования потока. Канал вентилятора – это сложное сооружение. Некоторое представление о канале ВГП можно получить взглянув на схему реверсирования осевых вентиляторов. Вентиляторная установка состоит из двух ВГП, один из которых рабочий, а второй – резервный. Рабочий ВГП засасывает воздух из ствола по основному каналу вентиляторов, подводному каналу и выбрасывает исходящий поток через главный канал. Канал вентилятора оборудован целой системой ляд, предназначенных для подключения в работу того или иного ВГП и для реверсирования вентиляционного потока. Канал должен быть компактен, герметичен и иметь малое аэродинамическое сопротивление. Диффузоры могут быть горизонтальными, наклонными или вертикальными. При использовании осевых реверсивных вентиляторов типа ВОД опрокидывание вентиляционного потока осуществляется путём изменения направления вращения ротора ВГП с одновременным изменением угла установки лопаток направляющего и спрямляющего аппаратов.

*Кроссинги* предназначены для разделения пересекающихся потоков, т. е. свежего и исходящего потоков воздуха в пересекающихся выработках. Их называют ещё воздушными мостами. По назначению кроссинги делятся на участковые и капитальные. Участковые кроссинги обслуживают один выемочный участок, капитальные – несколько участков, крыло шахтного поля или шахту в целом. Кроссинги могут быть «глухими», со шлюзами для прохода людей и движения транспорта, трубчатыми, типа «обходная выработка» и «перекидной мост». Сооружаются кроссинги из бетона, кирпича, шлакоблока, труб. Допускается устройство перемычек из чураков (отрезки деревянных стоек) на глине. Участковые кроссинги, по которым проходит поток расходом менее  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ , изготавливают, как правило, из труб площадью сечения не менее  $0,5 \text{ м}^2$ . При расходах воздуха, проходящих по кроссингу в пределах  $5 \leq Q < 20 \text{ м}^3/\text{с}$  сооружаются кроссинги типа «перекидной мост». Это «глухой» кроссинг, так как пересекающиеся выработки «наглухо» изолированы друг от друга, нельзя даже перейти из одной выработки в другую. Основание и перекрытие кроссинга делается из бетона. Для пропуска воздуха расходом более  $20 \text{ м}^3/\text{с}$  должны использоваться обходные выработки с плавными сопряжениями и равными площадями сечений с основной выработкой. Скорость движения воздуха по ПБ не должна превышать  $10 \text{ м/с}$ . Герметизация кроссингов достигается покрытием стенок герметизирующими составами: цементом, жидким стеклом, латексом, полиуретаном, смесями на основе смол и клеев. Кроссинги должны быть прочными, так как при нарушении их сплошности нарушается проветривание.

В местах замера расхода воздуха на главных входящих и исходящих потоках шахты должны устанавливаться *замерные станции*. Располагают их в прямолинейных, не загроможденных участках выработок с выдержанной площадью сечения на расстоянии 10-15 м. Участок выработки длиной 5-6 м по бокам и кровле тщательно обшивают обструганной доской так, чтобы был плавный вход и выход воздуха и исключалось движение потока за обшивкой. На замерных станциях устанавливаются доски для записи: даты замера, площади сечения, расчётного и фактического расходов воздуха и скорости его движения.

Для регулирования расхода воздуха, проходящего по выработкам, применяются *вентиляционные двери и вентиляционные окна*.

В настоящее время предложено достаточно большое число различных регуляторов. В автоматических системах управления вентиляцией шахт применяются регулировочные автоматические вентиляционные двери. В зависимости от требуемого расхода воздуха поворачивается дверь вокруг оси на необходимый угол. Если этого оказывается мало, то приоткрывается шторка одной из больших дверей.

К изолирующим устройствам относятся: надшахтные здания, глухие перемычки, вентиляционные двери и шлюзы. Герметические *надшахтные здания* сооружаются для изоляции устьев стволов, на которых установлены вентиляторные установки. Для пропуска

людей и грузов устраиваются *шлюзы* в надшахтных зданиях. В тех случаях, когда надшахтное здание вентиляционного ствола не имеет шлюзов, отверстия для пропуска канатов перекрываются *воздушными клапанами*, которые открываются механически при подходе клетки к верхней части ствола.

При этом открывается с помощью муфты небольшая крышка, расположенная сверху, которая выравнивает давление по обе стороны крышки. Верхняя часть ствола изготовлена в виде специального колодца, куда клеть входит плотно, как поршень в цилиндр, с минимальными зазорами. При переподъёме клетки поступление воздуха в ствол перекрывает фартук.

Если ствол предназначен только для целей вентиляции, то в его устье возводят глухие перемычки или перемычки с лядами.

Если канал вентилятора примыкает к наклонной выработке, служащей для транспорта, в её устье сооружают шлюзы, расстояния между которыми должны быть достаточными для размещения подъёмных сосудов.

Путём применения совершенных конструкций надшахтных зданий и современных герметизирующих материалов можно при строительстве новых надшахтных зданий снизить поверхностные утечки воздуха до 5-10% от расхода воздуха, поступающего в шахту.

*Перемычки* предназначены в основном для полного прекращения движения воздуха по выработкам и для изоляции возникшего пожара. Они бывают временные и постоянные, глухие и с вентиляционными дверями. Временные возводят для оперативного управления вентиляцией или быстрого прекращения движения воздуха.

Перемычки могут быть дощатыми, парусными (из брезента, ткани, трубы), надувными и парашютными, которые крепятся к рельсам или планкам крепи. Дощатые перемычки сооружаются из досок или горбылей, прибиваемых к стойкам, установленным в сечении выработки. Надувные перемычки изготавливаются из двухслойной капроновой прорезиненной ткани. Устанавливаются перемычки между крепёжными рамами. Выдерживают перемычки напор до 500 Па при скорости потока до 6 м/с и сохраняют давление до 5 суток.

Постоянные перемычки должны обладать высокой герметичностью, огнестойкостью и прочностью. Они сооружаются из бетона, шлакоблоков, чураков, затяжек, кирпича, пенопласта и других материалов. Перед возведением перемычки делается вруб достаточной глубины, чтобы перекрыть трещины в породах и сделать её более устойчивой. Выкладывают перемычки на уплотнителях (цемент, глина). Глубина вруба должна быть не менее 0,5 м по породе и не менее 1 м по углю по периметру выработки. Чураковые перемычки возводят из стоек диаметром 10-25 см, длиной 0,8-1,0 м. Кирпичные перемычки устраивают толщиной в 1,5-3 кирпича в зависимости от площади сечения выработки, горного давления и назначения. Бетонные перемычки применяют при длительном сроке их существования, воздействиях большого горного давления и существенного притока воды.

*Вентиляционные двери* устанавливают в действующих выработках. По конструктивному исполнению они могут быть самыми разнообразными. Вентиляционные двери могут быть одно- и двухстворчатыми, открываться в разные стороны или быть вращающимися. Изготавливаются вентиляционные двери из дерева или металла. Устанавливают их в бетонных, шлакоблочных, кирпичных или чураковых перемычках. Каждая перемычка должна иметь основные и реверсивные двери, открывающиеся в противоположные стороны. Все вентиляционные двери должны быть самозакрывающимися и постоянно закрытыми. При депрессии 500 Па и более вентиляционные двери должны быть снабжены устройством, облегчающее их открывание (разгрузочные окна). В выработках с интенсивной откаткой грузов вентиляционные двери должны автоматически открываться и закрываться с помощью двигателей или путём нажатия электровоза или вагонетки.

Не допускается установка вентиляционных дверей на участках наклонных выработок, оборудованных рельсовым транспортом, а также монорельсовыми и подвесными канатными

дорогами. Вентиляционные двери, установленные ниже участков выработок, по которым производится откатка, должны быть защищены барьерами.

*Шлюзы* предназначены для предупреждения короткого замыкания вентиляционных потоков со свежим и отработанным воздухом, основных и вспомогательных потоков. Они представляют собой две и более перемычки с дверьми, расположенными на определённом расстоянии друг от друга.

Расстояние между дверьми должно быть таким, чтобы при открывании одной из них, другая была бы закрыта. В транспортных выработках расстояние между дверями должно быть больше длины состава вагонеток на 15 м. Чтобы исключить утечки воздуха из откаточного штрека на вентиляционный по бремсбергу устраивают буфет в виде продольной стенки или обходной выработки.

#### 8.4 Контроль проветривания шахт

Состав шахтной атмосферы и её параметры ( $P$ ,  $\varphi$ ,  $V$ ,  $t_v$ ) постоянно изменяются по мере выемки угля, не говоря уже об изменениях в вентиляционной сети. Поэтому необходим контроль за качеством шахтной атмосферы, правильностью распределения расхода воздуха по выработкам и определению категории шахт по метану. В соответствии с ПБ должен систематически пополняться вентиляционный план и не реже 1 раза в полугодие составляться заново. На каждой шахте не реже 1 раза в 3 года должны проводиться депрессионная и (при необходимости) газовая съёмка, результаты которых используются при расчётах вентиляции шахт. На шахтах должны выполняться расчёты расхода воздуха и воздухораспределения, составляться мероприятия по обеспечению проветривания выработок шахт.

Для оценки качества воздуха, правильности его распределения по выработкам и определения газообильности шахт производится проверка состава воздуха и замеры его расхода в исходящих потоках очистных и тупиковых выработок, выемочных участков, крыльев, пластов и шахты в целом; на поступающих потоках при выделении метана на пути движения свежего потока, у ВМП и в зарядных камерах. Кроме того, замеры расхода воздуха должны производиться на главных потоках шахты, у всех разветвлений свежих воздушных потоков, у забоев тупиковых выработок. Под проверкой состава воздуха в выработках понимается определение содержания метана, углекислого газа, кислорода и дополнительно после взрывных работ устанавливается содержание оксида углерода (СО) и оксидов азота; в шахтах, разрабатывающих пласты угля, склонного к самовозгоранию, ведётся контроль содержания угарного газа СО в шахтном воздухе; на пожарных участках контролируется содержание СО, в зарядных камерах – водорода (H<sub>2</sub>).

Проверка состава воздуха и замер его расхода должны производиться на шахтах негазовых, I и II категории по газу метану 1 раз в месяц, на шахтах III категории – 2 раза в месяц, сверхкатегорийных, опасных по внезапным выбросам – 3 раза в месяц, а на шахтах, разрабатывающих пласты угля, склонные к самовозгоранию, - не реже 2 раз в месяц. При этом во всех местах проверки состава воздуха измеряются его скорость и температура. Расход воздуха, подаваемый к ВМП, определяется не менее 1 раза в месяц. Результаты замеров и данные о составе воздуха должны заноситься в Вентиляционный журнал. Не реже 1 раза в месяц должны определяться подача и давление каждого вентилятора. В местах установки датчиков стационарной аппаратуры контроля содержания метана и датчиков контроля расхода воздуха с выводом телеизмерений на поверхность проверку состава и замеры расхода воздуха допускается производить не реже одного раза в месяц. В местах замера расхода воздуха на главных входящих и исходящих потоках шахты должны быть устроены замерные станции. В других выработках замер расхода воздуха должен производиться на прямолинейных незагромождённых участках с крепью, прилегающей к стенкам выработки.

Для контроля содержания метана и углекислого газа в действующих горных выработках должны применяться приборы и аппаратура согласно таблице ПБ.



Категории шахт по газу	Тип приборов (аппаратура)			
	переносные эпизодического действия		переносные автоматические	стационарные автоматические
	на CH <sub>4</sub>	на CO <sub>2</sub>	на CH <sub>4</sub>	на CO <sub>2</sub>
Негазовые	+	+	-	-
I и II категории	+	+	+	-
III категории, сверхкатегорийные и опасные по внезапным выбросам	+	+	+	+

В шахтах, опасных по внезапным выбросам, все рабочие, ведущие работы в тупиковых и очистных выработках и в выработках с исходящими вентиляционными потоками, должны обеспечиваться индивидуальными сигнализаторами метана, совмещёнными с шахтными головными светильниками. В негазовых шахтах и шахтах I и II категории по газу временно допускается применение для контроля состава воздуха предохранительных бензиновых ламп.

Контроль содержания метана в газовых шахтах должен осуществляться во всех выработках, где может выделяться или скапливаться метан. Места и периодичность замеров устанавливается начальником участка ВТБ. Результаты измерений содержания метана, проведенные в течение смены, заносятся на доски. При этом должны выполняться следующие требования: а) у забоев действующих тупиковых выработок, в исходящих вентиляционных потоках тупиковых, очистных выработок и выемочных участков, по письменному заданию, замеры концентрации метана должны выполняться сменными руководителями работ участков, бригадирами (звеньевыми), работниками участка ВТБ. При отсутствии автоматического контроля содержания метана (АКМ) замеры должны выполняться: в шахтах I и II категорий – не менее 2 раз в смену, в шахтах III категории и выше – не менее 3 раз в смену. Один из замеров должен выполняться в начале смены. При этом не реже 1 раза в смену замеры должны выполняться работниками участка ВТБ. При АКМ при помощи только переносных приборов работники участка ВТБ должны выполнять замеры в шахтах I и II категорий не реже 1 раза в сутки, в шахтах III категории и выше – не реже 1 раза в смену. В тупиковых выработках и на выемочных участках шахт III категории и выше, оборудованных стационарной автоматической аппаратурой контроля содержания метана работники участка ВТБ должны выполнять замеры не реже 1 раза в сутки; б) в поступающих в тупиковые и очистные выработки и выемочные участки вентиляционных потоках, в исходящих вентиляционных потоках крыльев и шахт, и в прочих выработках замеры содержания метана должны выполняться работниками участка ВТБ не реже 1 раза в сутки; в) в машинных камерах замеры содержания метана должны выполняться сменными должностными лицами участков или персоналом, обслуживающим камеры, не реже 1 раза в смену и работниками участка ВТБ – не реже 1 раза в сутки.

На всех газовых шахтах в тупиковых выработках, проводимых с применением электроэнергии и проветриваемых ВМП, должна применяться аппаратура автоматического контроля расхода воздуха (АКВ). В шахтах III категории и выше должна применяться аппаратура автоматического контроля работы и телеуправления ВМП с электроприводом.

Контроль пылевзрывобезопасности горных выработок должен производиться ежемесячно должностными лицами участков и работниками ВТБ не реже одного раза в сутки. Контроль должен осуществляться приборами или лабораторным анализом и визуально.

## 8.5 Пылевентиляционная служба

На каждой шахте должен быть организован участок вентиляции и техники безопасности (ВТБ). Основная задача вентиляционной службы сводится к обеспечению всех действующих выработок воздухом, пригодным для дыхания, при допустимом ПБ содержании в нём активных газов, а также создания для работы благоприятных климатических условий. Работниками ВТБ проводится контроль за состоянием проветривания, газового, пылевого и теплового режимов шахт, составление и пополнение вентиляционных планов, расчёты устойчивости проветривания выработок, регулирования распределения воздуха в вентиляционной сети, ремонт

вентиляционных выработок, сооружений и устройств, обеспечение приборами контроля, вентиляционным оборудованием и материалами.

Начальниками участков ВТБ могут быть лица, имеющие высшее горно-техническое образование, полученное в учебных заведениях III и IV уровней аккредитации и стаж подземной работы на шахтах не менее 1 года. На шахтах III категории, сверхкатегорийных и опасных по внезапным выбросам, начальники участков ВТБ должны иметь стаж подземной работы на газовых шахтах не менее 3 лет. Заместителями начальника участка ВТБ на шахтах III категории и выше назначаются специалисты, имеющие высшее горно-техническое образование, окончившие высшие учебные заведения III и IV уровня аккредитации, а на шахтах не выше II категории – лица с высшим горно-техническим образованием I - IV уровней аккредитации. Помощниками начальника участка ВТБ и горными мастерами этих участков назначаются лица, имеющие высшее горно-техническое образование. Не допускается начальникам участка ВТБ, их заместителям и помощникам, а также горным мастерам участков ВТБ выполнять работы по совместительству или поручать им выполнение работ, не предусмотренных их должностными инструкциями.

## 9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ

Проект вентиляции составляется отдельно на периоды строительства и эксплуатации шахты. В период строительства проветривание стволов при их проходке осуществляется вентиляторами местного проветривания нагнетательным или комбинированным способом. Одновременно с проходкой стволов на поверхности осуществляется строительство вентиляторной установки главного проветривания, которая начинает работать с момента соединения стволов на рабочем горизонте. В дальнейшем выработки и камеры околоствольного двора проветриваются сквозным потоком, а тупиковые части – с помощью ВМП. При составлении проекта вентиляции на период эксплуатации шахты весь срок службы её разбивается на периоды по 15-20 лет, соответствующие сроку службы ВГП, и для каждого из периодов определяются параметры вентиляционной сети ( $Q_{ш}$ ,  $h_{ш}$ ), необходимые для выбора ВГП. Составлению проекта вентиляции шахты предшествует выбор схемы вскрытия, способа подготовки и системы разработки шахтного поля применительно к конкретным горно-геологическим условиям шахт. В ряде случаев при составлении проекта проветривания шахты приходится вносить коррективы во вскрытие, подготовку, системы разработки, предусматривающие проведение дополнительных выработок для вентиляции, увеличение площади сечения выработок, изменение способа управления кровлей и т. п. От проекта вентиляции зависит нагрузка на очистные забои и обеспеченность их воздухом, а следовательно безопасность и здоровье шахтёров.

Проект вентиляции шахты состоит из следующих основных разделов: - выбор способа и схемы проветривания шахты (выемочных участков); - прогноз газообильности выработок шахты; - расчёт расхода воздуха, необходимого для проветривания шахты и его распределение по вентиляционной сети шахты; - проверка площади сечения выработок по допустимым ПБ скоростям движения воздуха; - расчёт депрессии шахты; - выбор вентиляторной установки главного проветривания; - расчёт калориферной установки для подогрева воздуха в зимний период; - расчёт экономических показателей. Приступая к составлению проекта шахты необходимо прежде всего произвести прогноз газообильности очистных забоев, выемочных участков и произвести расчёт допустимой по газовому фактору нагрузки на очистные забои. Рассмотрим вкратце содержание разделов проекта вентиляции шахт.

### 9.1 Способы проветривания шахт

*Способ проветривания* – это способ создания разности давлений, необходимой для перемещения воздушного потока в вентиляционной сети шахты. В зависимости от способа создания разности давлений различают: нагнетательный, всасывающий и комбинированный способы проветривания. *Нагнетательный* способ проветривания состоит в том, что перепад давлений создаётся путём повышения давления воздуха вентилятором в воздухоподающем

стволе, т. е. вентилятор создаёт избыточное давление  $P_1$  по отношению к атмосферному  $P_0$ . Воздушный поток движется за счёт разности давлений  $P_1 - P_0 = h_v$ .

Достоинства: - позволяет проветривать шахту одной вентиляторной установкой; - легко регулировать распределение воздуха и управлять вентиляционными режимами; - длительный срок службы вентиляторной установки; - отсутствие подсосов воздуха с поверхности через обрушенные породы. Недостатки: - необходимость устройства герметичного надшахтного здания в воздухоподающем (клетевом) стволе – большие затраты; - необходимость применения мощной вентиляторной установки; - остановка ВГП в газовых шахтах может привести к быстрому загазированию выработок шахты. Область применения: - при работе на небольших глубинах; - при большой трещиноватости и связи с поверхностью; - на негасовых шахтах, I и II категории по газу при отработке первого горизонта.

*Всасывающий* способ проветривания шахты состоит в том, что необходимых для движения воздушного потока перепад давления создаётся вентилятором, работающем на всасывание. Он установлен в устье воздуховыдающего ствола. Давление снижается до величины  $P_2$  и за счёт разности  $P_0 - P_2 = h_v$  происходит движение воздуха в шахте.

Достоинства: - возможность применения на шахтах с большой газообильностью; - легче обеспечить герметичность надшахтного здания воздуховыдающего ствола; - можно применять несколько вентиляторов. Недостатки: - малый срок службы вентиляторов; - подсосы с поверхности через зоны обрушения и трещины; - при расположении вентиляторов на флангах трудно управлять вентиляцией шахт. Область применения: - при разработке пластов, не склонных к самовозгоранию; глубине работ более 150-200 м; - при разработке газоносных пластов угля.

При *комбинированном* способе проветривания шахт на воздухоподающем стволе устанавливается вентилятор, работающий на нагнетание, а на воздухоотводящем стволе – ВГП, работающий на всасывание. При этом в одной части шахтного поля создаётся избыточное по отношению к атмосферному давлению  $P_1$ , а в другой части – пониженное давление  $P_2$ . Движение воздушного потока осуществляется за счёт разности  $\Delta P = P_1 - P_2$ .

Достоинства: - в шахте имеется область с  $P_0$  (атмосферным давлением) и отсутствием поступления воздуха с поверхности; - можно проветривать шахты с большим аэродинамическим сопротивлением, так как создаётся ВГП большой перепад давлений  $\Delta P$ . Недостатки: - 2 ВГП; - большие затраты на проветривание; - трудность управления вентиляцией шахты. Область применения: - при разработке пластов с самовозгорающимся углем, - при больших аэродинамических сопротивлениях шахты.

При проектировании шахт выбор рациональных схем и способов проветривания шахт с учётом ожидаемой газообильности следует производить на основе технико-экономических сравнений, одновременно с выбором схем вскрытия, способов подготовки, систем разработки и порядком отработки пластов в свите.

## 9.2 Схемы вентиляции шахт

*Схемы вентиляции* (проветривания) представляют собой немасштабное изображение расположения горных выработок, служащих для подачи свежего и удаления отработанного потока воздуха. Схемы вентиляции обычно изображают в аксонометрии. Примеры схем проветривания шахт приведены ниже.

Требования к схемам проветривания шахт: - вентиляционные схемы шахт должны иметь возможно меньшее число пересечений воздушных потоков, дверей, перемычек и кроссингов; - каждая очистная выработка с примыкающими к ней тупиковыми выработками должна проветриваться обособленным потоком свежего воздуха; - зарядные камеры и камеры взрывчатых материалов (ВМ) должны проветриваться обособленным потоком свежего воздуха; - все прочие камеры глубиной до 6 м допускается проветривать за счёт диффузии; -

проветривание главных наклонных транспортных выработок, оборудованных ленточными конвейерами, должно быть обособленным или эти выработки должны использоваться для отвода исходящих потоков; - в газовых шахтах при углах наклона выработок более  $10^\circ$  движение воздуха в очистных выработках и на всём дальнейшем пути следования за ними (кроме выработок длиной менее 30 м) должно быть восходящим; - исходящая из тупиковых выработок шахт опасных по газу (кроме тупиковых выработок, примыкающих к очистным забоям) не должна поступать в очистные и тупиковые выработки; - запрещается подача свежего воздуха по стволам, оборудованным подъёмами со скипами или опрокидными клетями; - соблюдение требований ПБ по минимальной и максимально допустимой скорости движения воздуха.

На схему вентиляции должны быть нанесены условными обозначениями: - вентиляторы главных и вспомогательных вентиляционных установок с указанием их типа, подачи и давления, возможности реверсирования; - дегазационные установки, газопроводы и скважины, пробуренные с поверхности; - воздухоохладительные устройства с указанием их типа и холодопроизводительности; - калориферные установки, с указанием типа и поверхности нагрева; - направление свежего вентиляционного потока – красными стрелками и отработанного – синими; - вентиляционные устройства: переключки, кроссинги, двери, замерные станции с указанием Q, S, V; - ВМП с указанием типа и подачи, пылеотсасывающие установки, газоотсасывающие вентиляторы; - водяные (сланцевые) заслоны, завесы; - датчики стационарной автоматической аппаратуры контроля содержания  $\text{CH}_4$ , CO и расхода воздуха (Q); - автоматическая система локализации вспышек  $\text{CH}_4$ .

На схеме вентиляции должны быть указаны: - фактический расход (Q) (чёрным цветом), поступающего в шахту воздуха, на крылья, горизонты, участки, в очистные и тупиковые выработки, к местам установки ВМП; - фактические скорости воздуха в очистных и тупиковых выработках; - фактический Q, исходящего из шахты, крыльев, горизонтов, участков и очистных выработок; фактический Q в начале и конце горизонтальных и наклонных выработок для определения утечек воздуха; - расчётный Q (красным цветом) для очистных и тупиковых выработок, выемочных участков, камер, мест установки ВМП; - номера сланцевых (водяных) заслонов, изолирующих переключки и шлюзов. В таблице на схеме вентиляции должны приводиться: - категория шахты по газу; - опасность по пыли; абсолютная газообильность шахты,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ; - относительная газообильность,  $\text{м}^3/\text{т}$ ; - общий расход воздуха (фактического и расчётного), поступающего в шахту; - утечки воздуха: внешние – в % от подачи вентиляторов и внутренние – в % от расхода воздуха, поступающего в шахту.

В зависимости от числа и взаимного расположения стволов и выработок, по которым подаётся свежий и отводится исходящий поток воздуха, схемы проветривания шахт подразделяются на центральные, фланговые и комбинированные. *Центральные схемы* характеризуются расположением воздухоподающего и воздуховыдающего стволов посередине шахтного поля. Различают центрально-сдвоенные и центрально-отнесенные схемы проветривания. При центрально-сдвоенных схемах свежий поток воздуха подаётся по одному из стволов (обычно клетевому), омывает забои и возвращается по вентиляционным выработкам ко второму (вентиляционному) стволу.

Расстояние между стволами составляет 30-100 м. По основным выработкам свежий и отработанный потоки воздуха движутся во взаимно противоположных направлениях, поэтому эту схему называют возвратноточной. Применяется схема при глубине работ более 200 м, небольшой длине шахтного поля (до 2 км), метанообильности до  $15 \text{ м}^3/\text{т}$  и производственной мощности не более 2000 т/сутки.

При центрально-отнесенных схемах проветривания воздухоподающий ствол располагают в центре шахтного поля, а воздухоотводящий – посередине у границы шахтного поля.

Достоинства центральных схем: - быстрый ввод шахты в эксплуатацию; - относительно небольшие капитальные затраты (2ствола); - наличие 1 вентиляторной установки – простота управления вентиляцией шахты; - концентрация поверхностных сооружений. Недостатки: -

высокая депрессия шахты (двойной путь потока); - большие утечки воздуха в околоствольном дворе и параллельных выработках; - необходимость в вентиляционном горизонте. Центральнотнесенные схемы проветривания применяются при обработке верхних горизонтов шахт.

*Фланговая схема* проветривания применяется при вскрытии шахтного поля стволами в центре его и на границах по простиранию. При этом, воздухоподающий ствол расположен обычно в центре шахтного поля, а воздуховыдающие – на флангах его.

Свежий поток воздуха по всей длине выработок шахты движется в одном направлении, т. е. схема проветривания прямоточная. Фланговые схемы проветривания иногда называют диагональными. В зависимости от того, обслуживает вентиляторная установка целое крыло или несколько пластов, или только 1 участок различают фланговые схемы: крыльевые, групповые, участковые. Достоинства: - малые утечки; - относительно небольшая депрессия шахты, так как меньше общая длина выработок; - повышенная безопасность (3 ствола); - равномерное распределение депрессии во времени обработки запасов полезного ископаемого. Недостатки: - большие капитальные затраты, вызванные проведением выработок основного горизонта до границ поля; - большие потери угля у охранных целиков у стволов; - большое число ВГП – трудность управлением вентиляцией шахт. Фланговую схему проветривания целесообразно применять при значительной длине шахтного поля по простиранию, на весьма газообильных шахтах, при разработке склонных к самовозгоранию угольных пластов и при залегании ископаемого на небольшой глубине.

Схема проветривания шахты может быть единой или секционной. При секционной схеме проветривания всё шахтное поле разделяется на отдельные обособленно проветриваемые части-секции (блоки). Эта схема рекомендуется для глубоких газообильных шахт с большой производственной мощностью и значительными размерами шахтного поля.

*Комбинированная схема* проветривания шахт сочетает в себе элементы центральных и фланговых схем с целью использования преимуществ для конкретных условий. Комбинированная схема рекомендуется при проектировании вентиляции реконструируемых шахт.

При выборе схемы вентиляции необходимо предусматривать максимальное использование для проветривания транспортных и других эксплуатационных выработок, секционное проветривание отдельных выемочных полей и крыльев шахты. Как правило следует избегать подачи свежего потока воздуха по основным конвейерным выработкам.

### 9.3 Прогноз газообильности. Расчёт расхода воздуха. Выбор вентилятора.

#### Совершенствование проветривания шахт

Прогноз газообильности очистного забоя и выемочного участка осуществляется в соответствии с руководством по проектированию вентиляции угольных шахт. Ожидаемая метанообильность горных выработок для действующих шахт определяется по фактической метанообильности выработок – аналога данного шахтопласта (смотри выше).

Расчет расхода воздуха, необходимого для проветривания шахты, производится в соответствии с руководством по проектированию вентиляции угольных шахт. Определяется расход воздуха по местам его потребления: очистные, тупиковые забои, выемочные участки, погашаемые и поддерживаемые выработки, камеры. Учитывается неравномерность распределения воздуха по сети горных выработок и утечки воздуха. Расход воздуха для шахты в целом определяется по формуле

$$Q_{\text{ш}} = 1,1 (\Sigma Q_{\text{уч}} + \Sigma Q_{\text{т.в}} + \Sigma Q_{\text{пог.в}} + \Sigma Q_{\text{под.в}} + \Sigma Q_{\text{к}} + \Sigma Q_{\text{ут}}), \quad (9.1)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения воздуха по сети горных выработок;  $\Sigma Q_{\text{уч}}$  – расход воздуха для проветривания выемочных участков, м<sup>3</sup>/мин;  $\Sigma Q_{\text{т.в}}$  – расход воздуха, подаваемый к всасам ВМП для обособленного проветривания тупиковых выработок, м<sup>3</sup>/мин;  $\Sigma Q_{\text{пог.в}}$  – расход воздуха для обособленного проветривания погашаемых

выработок, м<sup>3</sup>/мин;  $\Sigma Q_{\text{под.в}}$  - расход воздуха для обособленного проветривания поддерживаемых выработок, м<sup>3</sup>/мин;  $\Sigma Q_{\text{к}}$  - расход воздуха для обособленного проветривания камер, м<sup>3</sup>/мин;  $\Sigma Q_{\text{ут}}$  - утечки воздуха через вентиляционные сооружения, расположенные за пределами выемочных участков, м<sup>3</sup>/мин.

Расход воздуха для очистных и подготовительных выработок, выемочных участков определяется по отдельным факторам: по газовыделению, числу одновременно работающих людей, газам разложения взрывчатых веществ, по пылевому фактору и проверяется по нормируемым ПБ скоростям движения воздуха в отдельных выработках. Принимается к расчёту наибольший расход воздуха.

Подача вентилятора ( $Q_{\text{в}}$ ), если утечки воздуха определяются по нормам, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{ш}} + \Sigma Q_{\text{ут.вн}}, \quad (9.2)$$

где  $Q_{\text{ш}}$  - расход воздуха, поступающий из шахты к данному вентилятору (подаваемый в шахту данным вентилятором), м<sup>3</sup>/мин;  $\Sigma Q_{\text{ут.вн}}$  - утечки воздуха через надшахтное здание и вентиляционный канал, м<sup>3</sup>/мин. Если утечки учитываются коэффициентом внешних утечек ( $K_{\text{ут.вн}}$ ), то

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{ш}} K_{\text{ут.вн}} \quad (9.3)$$

Расчитанный расход воздуха распределяют по вентиляционной сети шахты и проверяют площадь сечения выработок по допустимым скоростям воздушного потока  $V = Q/S$ .

Для выбора ВГП необходимо знать значение минимальной ( $h_{\text{min}}$ ) и максимальной депрессии ( $h_{\text{max}}$ ) по периодам работы шахты (15-20 лет). Максимальная депрессия сети ограничивается значением 300 даПа; для шахт сверхкатегорийных и опасных по внезапным выбросам, а также шахт мощностью 4000 т в сутки и более, допускается депрессия до 450 даПа. На действующих шахтах при доработке запасов последних горизонтов сроком 15-20 лет и глубине более 700 м, для шахт разрабатывающих пласты угля, не склонные к самовозгоранию, допускается максимальная депрессия до 800 даПа. За депрессию шахты (статическое давление вентилятора  $h_{\text{в}}$ ) принимается максимальное значение из депрессий всех направлений, проходящих через очистные выработки.

Очевидно самой большой депрессией будет обладать направление потока воздуха с наибольшим расходом ( $Q$ ) и максимальной суммарной длиной выработок. При расчёте депрессии шахты следует ориентироваться на отрицательный способ регулирования распределения воздуха в параллельных ветвях.

С целью совершенствования проветривания действующих шахт производится оценка состояния проветривания, выявляются его недостатки и их причины, разрабатываются мероприятия по обеспечению проветривания шахт на год и на пятилетие. Уменьшение общешахтной депрессии целесообразно производить по основным воздухоподающим выработкам. Основными мероприятиями по снижению депрессии являются: уменьшение коэффициента аэродинамического сопротивления выработок, увеличение площади сечения выработок, подключение параллельных ветвей и т. д.

Процесс вентиляции сводится к непрерывной подаче чистого свежего воздуха с дневной поверхности в шахту, к надлежащему распределению его по сети шахтных выработок и удалению отработанного воздуха на дневную поверхность. От состояния проветривания существенно зависит здоровье и жизнь шахтёров. Задачи отечественных учёных в области шахтной аэрологии: изучение газового режима шахт, процессов газо- и теплообмена в горных выработках, пылеобразования в них; выяснение физических сущностей и закономерностей явлений в шахтах; изучение процессов движения газов и воздушных потоков в недрах и выработках; совершенствование прогноза газовыделения и методов управления им; оценка надёжности проветривания шахт и т. п.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1987. – 421 с.

### Дополнительная

2. Правила безпеки у вугільних шахтах. – К.: Відлуння, 2005. - 400 с.
3. Збірник інструкцій до Правил безпеки у вугільних шахтах. – К.: Донецщина, 2003. Т. 1. – с. 480; Т. 2. – с. 416.
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – 312 с.
5. Руководство по дегазации угольных шахт. – М., 1990. – 185 с.
6. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Аэрология горных предприятий» для студентов горных специальностей /Сост.: Стукало В.А., Почтаренко Н.С., Тельной А.П., Николаев Е.Б. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – 48 с.
7. Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Аэрология горных предприятий», «Аэрология шахт», «Рудничная вентиляция» (часть 2). /Сост. Стукало В.А. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – 60 с.
8. Аэрология горных предприятий. Сборник задач. /Б.И.Медведев и др. – К.: Либідь, 1992. – 258 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Принятые сокращения и обозначения.....	3
Введение.....	4
<b>І Шахтная атмосфера</b>	
1 Главные составные части, ядовитые и взрывчатые примеси шахтного воздуха.....	5
1.1 Шахтный воздух. Состав атмосферного воздуха.....	5
1.2 Главные ядовитые и взрывчатые примеси шахтного воздуха.....	6
2 Метан, его свойства и меры борьбы с ним.....	7
2.1 Физико-химические свойства метана.....	7
2.2 Происхождение метана и формы сохранения его в угле.....	8
2.3 Виды выделения метана в шахтах.....	9
2.4 Меры борьбы с метаном в шахтах.....	13
3 Шахтная пыль.....	14
3.1 Горючие и взрывчатые свойства угольной пыли.....	14
3.2 Меры борьбы со взрывами угольной пыли.....	15
4 Тепловой режим шахт и меры по его нормализации.....	16
4.1 Метеорологические условия в шахтах и влияние их на организм человека.....	16
4.2 Основные факторы, влияющие на температуру воздуха в шахте.....	18
4.3 Способы регулирования температурного режима шахт.....	19
4.4 Охлаждение воздушного потока.....	20
<b>ІІ Шахтная аэромеханика</b>	
5 Основные законы аэростатики и аэродинамики. Аэродинамическое сопротивление горных выработок.....	21
5.1 Уравнения аэростатики.....	21
5.2 Уравнение Д.Бернулли. Понятие депрессии.....	22
5.3 Режимы движения воздуха в шахтах.....	23
5.4 Закон сопротивления.....	23
5.5 Аэродинамическое сопротивление горных выработок.....	24
6 Вентиляционные сети шахт. Регулирование распределения воздуха в сети горных выработок.....	25
6.1 Шахтная вентиляционная сеть.....	25
6.2 Регулирование распределения воздуха в сети горных выработок.....	28
7 Естественная тяга воздуха в шахтах. Работа вентиляторов на шахтную сеть.	

Утечки воздуха в шахтных вентиляционных сетях.....	29
7.1 Естественная тяга воздуха в шахтах.....	29
7.2 Работа вентиляторов на шахтную сеть.....	31
7.3 Утечки воздуха в шахтных вентиляционных сетях.....	32
III Вентиляция шахт	
8 Проветривание очистных и подготовительных выработок. Вентиляционные сооружения и устройства. Контроль проветривания шахт. Пылевентиляционная служба.....	35
8.1 Проветривание очистных выработок и выемочных участков.....	35
8.2 Проветривание тупиковых подготовительных выработок.....	36
8.3 Вентиляционные сооружения и устройства.....	37
8.4 Контроль проветривания шахт.....	40
8.5 Пылевентиляционная служба.....	41
9 Проектирование вентиляции шахт.....	42
9.1 Способы проветривания шахт.....	42
9.2 Схемы вентиляции шахт.....	43
9.3 Прогноз газообильности. Расчёт расхода воздуха. Выбор вентилятора. Совершенствование проветривания шахт.....	45
Рекомендуемая литература.....	46

**РУДНИЧНАЯ АЭРОЛОГИЯ:**  
 конспект лекций для студентов специальности  
 7.050107 «Экономика предприятия»  
 специализации – «Экономика добывающей промышленности»  
 - (ЭГП).

Авторы-составители

Почтаренко Николай Сергеевич  
 Николаев Евгений Борисович