

И. А. МАШКОВЦЕВ, Г. А. БАЛЫХИН

**АЭРОЛОГИЯ
И
ОХРАНА
ТРУДА
НА
ШАХТАХ
И В
КАРЬЕРАХ**

Учебное пособие

Описание
Допущено
Министерством высшего и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия для студентов-иностранцев
горных специальностей вузов

1322269
С.5 Таш.ИИ

Москва
Издательство Университета дружбы народов
1986

Машковцев И. Л., Балыхин Г. А.

Аэрология и охрана труда на шахтах и в карьерах: Учеб. пособие. — М.: Изд-во УДН, 1986. — 312 с., ил.

Приводятся данные по созданию благоприятных и безопасных условий труда на шахтах и в карьерах, мерам борьбы с высокими температурами горных пород, пылью, опасными и вредными газами. Рассматриваются теоретические вопросы аэрологии, техники безопасности, горно-спасательного дела, а также мероприятия по снижению травматизма и борьбе с рудничными пожарами.

Для иностранных студентов, изучающих горное дело. Рекомендуется ниже-
нерам-производственникам и научным работникам.

Рецензенты:

кафедра аэрологии и охраны труда Карагандинского
политехнического института;
доктор технических наук, профессор А. Т. Айруни

ВВЕДЕНИЕ

Проветривание горных выработок и охрана труда, включающая технику безопасности, имеют большое значение при разработке месторождений полезных ископаемых. В шахтах и карьерах, соответственно, на глубине до 3000—4000 и 400—500 м значительно увеличиваются горное давление, газоносность и температура горных пород. Большие глубины горных пород характерны для стран Азии, Африки и Латинской Америки. Увеличение горного давления предъявляет высокие требования к технике безопасности в забоях, увеличение газоносности и температуры горных пород — к мерам борьбы с метаном и мерам по созданию оптимальных тепловых условий. Эти требования достаточно полно учтены в СССР.

Иностранные учащиеся, специализирующиеся в области горного дела, должны освоить опыт СССР по созданию безопасных и благоприятных условий труда на шахтах и в карьерах. Так, в СССР по сравнению с рядом капиталистических стран существуют более жесткие требования к допустимому содержанию метана и пыли в горных выработках, температуре шахтного воздуха и т. д., что вместе с хорошим медицинским обслуживанием и организацией отдыха трудящихся способствует эффективной добыче полезных ископаемых и безопасности ведения горных работ.

В связи с подготовкой специалистов широкого профиля по специальности «Разработка месторождений полезных ископаемых» вопросы аэрологии и охраны труда рассматриваются одновременно для шахт и карьеров. Это касается состава воздуха, теплового режима, схем проветривания и т. д.

Советские ученые уделяют значительное внимание решению вопросов вентиляции и техники безопасности на горных предприятиях (А. А. Скочинский, Г. Д. Лидин, А. Т. Айруни, Ф. С. Клебанов, А. Э. Петросян, Н. Ф. Гращенков, К. З. Ушаков и др.). Особый интерес представляют материалы по динамике аэрозолей, допустимой нагрузке лав, схемам проветрива-

ния карьеров, травматизму, борьбе с пожарами и т. д. Ряд схем проветривания мощных пластов угля составлен на основе наблюдений и исследований авторов.

Учебное пособие написано на основе большого фактического материала. Оно включает вопросы проветривания, охраны труда и техники безопасности, органически связанные друг с другом. В пособии объединены самовозгорание и рудничные пожары, обычно излагаемые в разных курсах, что улучшит усвоение сложного материала учащимися.

Авторы благодарят рецензентов: доктора технических наук, профессора А. Т. Айруни и доктора технических наук, профессора Н. Ф. Гращенко, а также докторов технических наук, профессоров Ю. Л. Худина, М. И. Устинова и доктора технических наук А. В. Старикова за ценные советы при подготовке рукописи.

1. АТМОСФЕРА ШАХТ И КАРЬЕРОВ

1.1. ОБРАЗОВАНИЕ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА

Рудничный воздух — это смесь газов и паров, движущаяся по выработкам и постоянно претерпевающая изменения по сравнению с атмосферным воздухом. Постоянно колеблются такие показатели рудничной атмосферы, как влажность, температура, давление и объемная масса воздуха.

В шахту и карьер с поверхности поступают атмосферный воздух, имеющий следующий состав: N_2 — 78,08%, O_2 — 20,95, CO_2 — 0,03, Ar — 0,93%, и прочие газы — гелий, неон, криптон, водяные пары и др. — 0,01%. Это воздух, которым мы дышим на поверхности земли. Содержание его основных компонентов (O_2 , N_2 и CO_2) почти постоянно находится в соотношении 1:3, 37:0,001. Причинами изменения атмосферного воздуха в шахте и карьере являются газоносность месторождения, поглощение O_2 при окислении пород, большая длина выработок и производственные процессы.

В результате рудничный воздух на исходящей струе угольной шахты имеет следующий примерный состав: N_2 — 77,76%, O_2 — 20,4, CO_2 — 0,4%, газы ВВ (взрывчатых веществ) и ядовитые газы — 0,94% и метан CH_4 — 0,5%. В рудничном воздухе по сравнению с атмосферным помимо уменьшения содержания O_2 происходит увеличение содержания CO_2 , появляются вредные газы, а также пыль и сажа.

Состав рудничного воздуха шахт в силу указанного изменения количества O_2 , N_2 и CO_2 можно представить в виде трех частей: атмосферный воздух, активные газы (газы ВВ, ядовитые и взрывчатые газы) и «мертвый воздух». «Мертвый воздух» — это избыточное по сравнению с атмосферным воздухом содержание N_2 и CO_2 , или воздух, не содержащий кислорода. В шахтах известны случаи выделения натурального «мертвого воздуха» и отравления им. Отношение $CO_2:N_2$ в «мертвом воздухе» является величиной постоянной для данных условий, что дает возможность следить за газообменом в шахте.

Подсчитаем дифференцированный состав рудничного воздуха для угольной шахты на основе вышеприведенных процентов содержания газов.

Процент содержания N_2 и CO_2 в рудничном воздухе как составных частей атмосферного воздуха:

$$N_2 = 78,08 \frac{20,4}{20,95} = 76,05; CO_2 = 0,03 \frac{20,4}{20,95} \cong 0,03.$$

Состав воздуха, исключая «мертвый», следующий: N_2 — 76,05%, O_2 — 20,4, CO_2 — 0,03, активные газы и метан — 1,44%, итого — 97,92%. Процент «мертвого воздуха»: $100 - 97,92 = 2,08$. Процент содержания N_2 и CO_2 в рудничном воздухе как составных частей «мертвого воздуха» составляет:

$$N_2 = 77,76 - 76,05 = 1,71; CO_2 = 0,4 - 0,03 = 0,37.$$

Процент содержания N_2 и CO_2 в «мертвом воздухе» как смеси двух газов составляет:

$$N_2 = \frac{1,71}{2,08} \cdot 100 = 85; CO_2 = \frac{0,37}{2,08} \cdot 100 = 15.$$

Дифференцированный состав рудничного воздуха, %:

атмосферный воздух:	N_2 — 76,05	} 96,48;
	O_2 — 20,4	
	CO_2 — 0,03	
активные газы	—	0,94;
метан	—	0,5;
«мертвый воздух»:	N_2 — 1,71	} 2,08
	CO_2 — 0,37	
Итого:		100.

1.2. СОСТАВ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА

1.2.1. Основные газы

Кислород O_2 . Газ без цвета, вкуса и запаха, объемная масса по отношению к воздуху — 1,11. Вес 1 м^3 равен 1,43 кг. Весьма активен.

Помимо окисления уменьшение O_2 в рудничном воздухе происходит в результате поступления в атмосферу «мертвого воздуха», дополнительных количеств CH_4 , CO и других газов, пожаров, взрывов газов, работы двигателей и дыхания людей.

Дыхание и обогащение крови O_2 происходит, главным образом, через легкие человека. Из всего кислорода только $\frac{1}{5}$ попадает в кровь. На четыре объема CO_2 расходуется пять объемов поглощенного кровью кислорода. Респираторный коэффициент человека равен:

$$\frac{CO_2 \text{ выдох}}{O_2 \text{ вдох} - O_2 \text{ выдох}} = \frac{CO_2 \text{ выдох}}{O_2 \text{ поглощение}} = 0,8 - 0,9.$$

При содержании кислорода в воздухе менее 15% значительно ухудшается поглощение его кровью. В шахтах одышка и сердцебиение наступают уже при 17%. Смерть от кислородного голодания (аноксемия) может произойти при содержании O_2 9—12%.

В СССР установлена норма содержания O_2 в рудничном воздухе не менее 20%. Норма достаточно высока и превышает на 1% большинство норм, установленных на O_2 в зарубежных странах. Это сделано с учетом отсутствия в шахтах полезных для человека солнечных лучей.

Азот N_2 . Газ без цвета, запаха и вкуса. Объемная масса — 0,97. Безвреден. Источники образования азота: гниение, взрывные работы (1 л нитроглицерина при взрыве выделяет 640 л газа, из них 135 л — N_2), выделение в чистом виде, «мертвый воздух» и др.

Углекислый газ CO_2 . Газ без цвета, со слабым кислым вкусом и запахом. Источники образования: разложение органических соединений (лес), горных пород, окисление угля, выделение в готовом виде, внезапные выбросы, дыхание (50 л/ч), взрывные работы (250 л на 1 кг ВВ), двигатели (60 л/ч на 1 л. с.) и др.

При небольшом содержании в воздухе углекислый газ улучшает дыхание (увеличение CO_2 в альвеолах на 0,2% улучшает дыхание вдвое). При содержании CO_2 от 3% и более он действует отравляюще. Учащается дыхание даже в состоянии покоя, появляется сильная одышка и слабость (6%), наступает обморочное состояние (10%) и смерть (21—25%).

Норма содержания CO_2 в воздухе установлена для поверхностных помещений не более 0,1%. В горных выработках норма выше — 0,5%, так как в рудничном воздухе преобладает углекислый газ органического происхождения, не содержащий ядовитых примесей, характерных для CO_2 физиологического происхождения. На исходящих струях шахт, т. е. в местах, свободных от людей, а также в исключительных случаях при прохождении и восстановлении выработок по завалу допускается большее содержание CO_2 — 0,75 и 1% соответственно.

Количество выделяющегося CO_2 в шахте в единицу времени называется абсолютной углекислотообильностью шахты (Q_{CO_2}), это же количество, отнесенное на 1 т добытого полез-

ного ископаемого, — относительной углекислотообильностью. По относительной углекислотообильности угольные шахты делятся на четыре группы: I — с CO_2 на 1 т добычи до 5 м^3 , II — $5\text{—}10 \text{ м}^3/\text{т}$, III — $10\text{—}15 \text{ м}^3/\text{т}$ и IV — более $15 \text{ м}^3/\text{т}$.

1.2.2. Вредные примеси рудничного воздуха

Оксид углерода CO. Газ без цвета, запаха и вкуса. Объемная масса — 0,97. Оксид углерода ядовит. Она в 250—300 раз легче усваивается кровью, чем кислород, и поэтому при насыщении вызывает болезненные симптомы, характерные для кислородного голодания. Различают следующие степени отравления CO человека, находящегося в покое (табл. 1.1):

Таблица 1.1

Степень отравления CO	Концентрация CO в воздухе, % по объему	Время воздействия CO, ч	Характер воздействия газа на человека
I	0,016	2—3	Почти незаметно
II	0,048	1	Слабое отравление
III	0,128	0,5—1	Тяжелое отравление
IV	0,4	Кратковременно	Смертельное отравление

При отравлении CO первая помощь должна быть оказана в виде искусственного дыхания в выработке на свежей струе.

Оксид углерода образуется в результате ряда причин: при взрывных работах, работе двигателей внутреннего сгорания (от 60 до 1000 л/мин), рудничных пожарах и взрывах метано-воздушной среды.

При взрывных работах CO выделяется при неполном и полном взрывах в зависимости от состава ВВ. Дополнительные количества CO могут выделяться при взрывных работах по углю. Одновременно с CO при взрыве образуются другие ядовитые газы. Вследствие этого при практических расчетах проветривания забоев после взрывных работ принимают, что из 1 кг ВВ образуется 40 и 100 л условной окиси углерода, куда помимо CO в эквивалентном количестве входит двуокись азота. Первая цифра (40 л) относится к взрыванию по породе, вторая (100 л) — к взрыванию по углю.

Насколько легко горные выработки при рудничном пожаре могут быть заражены CO, обычно иллюстрируется небольшим расчетом образования окиси углерода при воспламенении одной рамы крепи из дерева, находящим подтверждение в практике.

При $d_{\text{дерева}} = 18 \text{ см}$, длине стоек 2 м и верхняка 2,5 м объем рамы крепи равен $0,17 \text{ м}^3$. Средний состав сухого дерева: 38,5% C, 40% H_2O химически связанной, 20% H_2O свобод-

ной и 1,5% золы. Вес 1 м³ такого дерева — 750 кг. Допуская, что углерод (атомный вес 12) целиком перейдет в окись углерода (атомный вес 28), получим при сгорании одной рамы:

$$\frac{750 \cdot 0,17 \cdot 38,5 \cdot 28}{100 \cdot 12} = 114,6 \text{ кг CO},$$

что составит 97 м³ СО (при весе 1 м³ СО 1,18 кг, температуре +15° С и давлении 1 атм). Этого объема СО при пожаре будет достаточно, чтобы сделать пребывание человека в выработке сечением 4,5 м² и длиной 2 км смертельно опасным.

Количество СО, образующееся при взрыве газовоздушной смеси оценивается по взорванной пыли (1 кг пыли дает 1,5 м³ СО), так как один метан при взрыве окись углерода не выделяет.

Окись углерода горит и взрывается. Предел взрывчатости СО — 13—75%. Максимальный взрыв происходит при 30% СО.

Допустимое содержание СО в рудничном воздухе как в шахте, так и в карьере (санитарно-гигиеническая норма) не более 0,0016% (0,2 мг/л). В порядке исключения разрешается допуск рабочих в забой подготовительной выработки после взрывных работ при концентрации СО 0,008% при условии интенсивного проветривания, которое оценивается в данном случае по времени достижения указанной концентрации за 30 мин и затем концентрации 0,0016% не более чем за 2 ч после начала работ.

Сероводород H₂S. Газ без цвета, с запахом тухлых яиц, сладковатый на вкус при большой концентрации. Объемная масса — 1,19. Легко растворяется в воде: в 1 л H₂O—3,23 л H₂S. В воздухе взрывается при содержании 6%. Ядовит (табл. 1.2). Сильно действует на слизистые оболочки глаз, дыхательных путей и на нервную систему.

Образуется H₂S при гниении органических веществ (например, дерева), разложении водой серного колчедана и гипса (CaS+H₂O+CO₂=CaCO₃+H₂S), выделении из скоплений (особенно на соляных и азокеритовых шахтах), минеральных источников совместно с CH₄, при неполных взрывах ВВ и подземных пожарах. Степень отравления человека сероводородом приведена в табл. 1.2.

Допустимое содержание H₂S в рудничном воздухе шахт и карьеров не более 0,00066%. Шахтную воду, содержащую сероводород, надо стараться не возмущать. При оказании первой помощи следует сделать искусственное дыхание на свежей струе, а также вдыхание нейтрализующего в данном случае хлора (например, с помощью платка, смоченного в хлорной извести).

Таблица 1.2

Степень отравления H_2S	Концентрация H_2S в воздухе, % по объему	Время воздействия H_2S , ч	Характер воздействия газа на человека
I	0,01	2—3	Легкое отравление
II	0,02	1	Отравление без серьезных последствий
III	0,05	0,5—1	Опасное отравление
IV	0,1	Кратковременно	Быстрое наступление смерти

Сернистый газ SO_2 . Газ без цвета, с острым запахом и неприятным вкусом. Объемная масса — 2,22. Ядовит. Сильно разъедает слизистые оболочки, особенно глаз, поэтому получил название «газ-глазоедка». Ощутим уже при содержании 0,0005%. Тяжелое поражение можно получить при 0,002% и смертельное при 0,05%.

Образуется SO_2 при взрывных работах (при наличии S в ВВ или породах), в готовом виде из пород, содержащих S, при окислении колчеданных руд и взрывах ее пыли (одновременно с H_2S).

Допустимое содержание SO_4 в воздухе рудных шахт и карьеров — 0,0007% (0,01 мг/л), угольных шахт — 0,00035%, так как в последних содержание его ничтожно.

В серных шахтах должны применяться деятельная вентиляция, обильное орошение забоя и смывание серной пыли со стенок выработок. Взрывные работы допускаются только в конце смены.

Газы взрывчатых веществ. При взрыве образуются CO и смеси газов NO , NO_2 , N_2O_4 и N_2O_5 . Устойчивыми окислами азота являются NO_2 и N_2O_4 . Они ядовиты, вызывают сильное раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей. Для горняков — это самые опасные газы, так как смерть может наступить через 20—30 ч после попадания газа в легкие в результате отека. Смертельная концентрация окислов — 0,025%, однако указанный отек легких может произойти при глубоком вдыхании окислов более низкой концентрации. Симптомы отравления окислами — кашель, головная боль, рвота, повышение температуры тела и нарушение сердечной деятельности.

Допустимое содержание окислов 0,0002% в пересчете на NO_2 и 0,0001% в пересчете на N_2O_5 .

При взрывных работах необходимо хорошо проветривать забой, применять ВВ со специальными добавками и устранять неполные взрывы. Эффективным средством является распыление 1% раствора NaOH, в 4—5 раз превышающим

вес ВВ. Содержание NO_2 снижается в десятки раз. При нахождении в атмосфере, содержащей окислы, необходимо дышать неглубоко и избегать резких движений. При отравлении пострадавшего необходимо вывести на свежую струю.

Компрессорные газы — CO , CH_4 и другие, образующиеся из масла компрессоров при высокой температуре и давлении. Любое смазочное масло в количестве 20 г может превратить в указанных условиях 1 м³ воздуха во взрывчатую смесь.

Для предотвращения взрывов и отравления рудничной атмосферы необходимо тщательно следить за исправностью охлаждающих устройств компрессора и очисткой масла в воздухохраниках.

Выхлопные газы. К ним относятся смесь газов CO , CO_2 , окислов азота, акролеина и формальдегида. Альдегиды (акролеины и формальдегид) — газы с приятным запахом. Весьма ядовиты. Допустимое содержание их в атмосфере рабочей зоны рудников и карьеров равно, соответственно, 0,002 мг/л и 0,005 мг/л.

Меры борьбы с выхлопными газами включают дожигание, растворение газов или разложение. Дожижение производится в присутствии катализатора (например, алюминиов-платинового) или при высокой температуре. Несмотря на громоздкость оборудования, может быть достигнут высокий процент сжигания CO в смеси — 90—95%. При разжижении (или подсушении) на выходе газов ставится эжектор.

К выхлопным газам относятся смеси, образующиеся при огневом бурении с помощью реактивных горелок. В станках, работающих на кислородно-керосиновом окислении, дополнительно образуется H_2 до 20—25%.

Способ огневого бурения определяет меры борьбы с образующимися газами: термическое и каталитическое дожигание, мокрая газоочистка или их комбинация.

При бурении на кислороде применяется жидкостная очистка с подачей к горелке смеси марганцово-кислого калия (KMnO_4) и углекислой соды (NaHCO_3). При бурении на сжатом воздухе производится дожигание в специальных реакторах в присутствии шлаков марганцовой руды.

Водород H_2 . Газ без цвета и вкуса. Объемная масса — 0,9. Водород взрывается в смеси с воздухом при содержании от 4 до 74% с максимальной силой взрыва при 28,6%. Особенностью взрыва является меньшая по сравнению с метаном температура воспламенения смеси (на 100—200 °C), что связано с опасностью более раннего взрыва водорода.

Источники образования водорода: зарядка аккумуляторных батарей, пожары, совместное выделение с метаном и из скоплений (на калийных шахтах).

Таблица 1.3

Данные поражения	Степень поражения						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Полученное облучение, Р	25	25—50	50—100	100—200	200—400	400	600
Время воздействия	Одно-кратно	Одно-кратно	Одно-кратно	Одно-кратно	Одно-кратно	Одно-кратно	Одно-кратно
Характер поражения	Видимые (ощутимые) поражения отсутствуют	Вероятные изменения в крови, серьезные нарушения отсутствуют	Изменения в крови, некоторые нарушения нормального состояния при сохранении работоспособности	Недомогание, нарушение нормального состояния, возможна потеря трудоспособности	Потеря трудоспособности, возможен смертельный исход	Поражение смертельное для 50% пострадавших	Поражение смертельное для 100% пострадавших

Газообразные радиоактивные вещества (эманации) — радон Rn , стронций Sr и др. Наиболее опасным радиоактивным веществом при разработке урановых и ториевых руд является радон Rn . Он хорошо растворяется в воде. В одном объеме воды при $0^\circ C$ растворяется 0,507 объема радона.

Все приборы на радиоактивные вещества действуют на принципе измерения облучения какого-либо вещества. Существуют газоразрядные и сцинтилляционные счетчики, фотографические, химические и колориметрические дозиметры. Типы приборов: индивидуальные, лабораторные и специальные. Вид воздействия — ионизация. Единицами измерения (дозиметрии) радона и других эманаций является рентген — доза рентгеновского γ -излучения, при котором в 1 см^3 воздуха образуются ионы, несущие одну электростатическую единицу электричества каждого знака; эман — концентрация радиоактивных веществ в газах (жидкостях), при которых в 1 л воздуха происходят 222 распада в минуту.

Радиоактивные вещества оказывают сильное воздействие на человека, особенно на кожу, кровь, хрусталик глаза, желудочно-кишечный тракт и др. Степень поражения от действия радиоактивных веществ приведена в табл. 1.3.

В урановых рудниках должно быть эффективное проветривание выработок, постоянное «обновление» воздуха, применение обильного орошения отбитой руды в очистных забоях. В штреках необходимо устанавливать водяные завесы. При необходимости применяется индивидуальная защита: дыхательные фильтры, маски и респираторы.

Предельно допустимая норма (доза) концентрации ^{222}Rn в рабочей зоне равна $3,8 \cdot 10^3$ мк Ки/год или $1,5 \cdot 10^{-9}$ Ки/л (без продуктов распада) [26 а]. При работе с урансодержащими породами неизвестной растворимости норма снижается до $1 \cdot 10^{-14}$ Ки/л.

Прочие газы, используемые в горном деле. Это ацетилен, этан и пары бензина. Наиболее важные сведения — пределы взрывчатости газов с воздухом нормального состава (при обычных для шахт температурах и давлении): ацетилен — 3%, этан — 3,2—12,5 и пары бензина — 1,1—5,8%.

1.3. МЕТАН CH_4 (РУДНИЧНЫЙ ГАЗ)

1.3.1. Свойства метана

Газ без цвета, вкуса и запаха. Объемная масса — 0,554, 1 м^3 весит 0,716 кг. У метана большая скорость диффузии, в

1,6 раза больше, чем у воздуха. В воде растворяется мало, при давлении 1013 гПа и температуре 20°С — не более 3,5 объемов в 100 объемах воды.

В рудничном воздухе всегда присутствует не в чистом виде, а вместе с N_2 (в калийных шахтах — 0,2—0,4%), CO_2 (не более 5%), CO (0,5—1%), H_2S и SO_2 (незначительное количество, но придают ядовитость), а также H_2 и углеводороды C_xH_y (опасны из-за уменьшения температуры вспышки). В целом влияние примесей, находящихся в рудничном газе в указанных процентах, незначительно.

Метан не ядовит, но снижает количество O_2 в рудничном воздухе. При содержании 43% CH_4 наступает кислородное голодание, а при 57% — аноксемия.

Большую опасность представляют взрывы метана. При взрыве, как правило, происходят два удара — прямой и обратный к источнику взрыва. Возможны взрывы встречных газов. За историю существования горного дела отмечен ряд крупных аварий на шахтах («Хонсико», Япония, 1942 г. — 1527 погибших; № 20, Караганда, СССР, 1945 г. — 82 погибших; «Микава», Япония, 1977 г. — 467 погибших), явившихся результатом взрыва метана. Исследования по рудничному газу, проводимые в разных странах, направлены, главным образом, на решение этой проблемы.

Температура воспламенения метана 650—750°С. Вспышка его происходит с опозданием: при первоначальной температуре — до 100 с, а при 1000°С всего 1 с. Цвет пламени характеризует в некоторой степени содержание метана в воздухе. При небольших количествах метана цвет пламени — синий, при больших (около 5%) — светло-голубой.

Пределы взрывчатости метана от 5 до 15%. При содержании меньше 5% смесь может гореть около источника с высокой температурой, выше 15% смесь не взрывается и не горит. Только при притоке кислорода извне эта смесь загорается как светильный газ. Максимальная сила взрыва происходит при содержании CH_4 9,5%, так как в этом случае целиком сгорает кислород. Температура взрыва метана 2200—2700°С в замкнутом и 1900°С в свободном пространстве.

При взрыве метана выделяется большое количество тепла — около 13 300 ккал из 1 кг газа, тогда как 1 кг черного пороха выделяет при горении 580 ккал, а нитроглицерина — 1500 ккал. По силе взрыва метан значительно слабее вышеприведенных взрывчатых веществ, его плотность заряда при 9,5% (1/11 объема пространства) составляет 65 г на 1 м³, или $\Delta=0,000062$, у пороха $\Delta=1,0$ и у нитроглицерина $\Delta=1,6$.

1.3.2. Виды существования и выделения CH_4

Различают три вида существования метана: свободный газ, сорбированный (связанный) и растворенный в воде.

Основное количество газа в угольных месторождениях находится в адсорбированном состоянии, концентрируясь на поверхности твердого вещества (в фильтрационном объеме) под действием молекулярного притяжения. Реже встречаются связи типа абсорбция (проникновение молекул газа в твердое вещество без химической реакции) и хемосорбция (обратимое химическое соединение молекул газа и твердого вещества).

В шахтах наблюдаются три вида выделения метана: обыкновенное, суфлярное и внезапное.

Обыкновенное выделение характеризуется тем, что метан соединяется с рудничной атмосферой при обнажениях полезного ископаемого и пород, получающихся в результате добычных работ. Выделение метана происходит из трещин и новых поверхностей, появившихся в забое, из отбитого полезного ископаемого, кровли и почвы.

Процесс выделения метана является затухающим во времени. При остановке забоя период дренирования имеет определенные границы. Так, например, для пласта K_{18} «Новый» (Карагандинский бассейн) он равен около 9 мес, h'_{10} «Ливенский» (Донбасс) — 6 мес и т. д.

Выделение метана из забоя происходит в пределах зоны дренирования и является неравномерным. Коэффициент неравномерности для Карагандинского бассейна равен 1,85, для Донбасса — 1,15.

В целом для очистных забоев угольных шахт баланс CH_4 складывается из выделений: из забоя — 50%, отбитого угля — 15%, кровли, почвы и выработанного пространства — 35%.

В подготовительных выработках выделение метана зависит от скорости проведения и срока готовности выработки. При проходке выработки за 3—5 сут и более газовыделение может учитываться только из забоя и боков выработки по формуле

$$I = \frac{q_0 a' V_1}{n} (1 - e^{-nt}), \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (1.1)$$

где q_0 — начальная скорость истечения метана,

$$q_0 = (0,01 - 0,02) \frac{\text{м}^3/\text{мин}}{\text{м}^2};$$

a' — ширина обнажаемой поверхности угля, м;

V_1 — скорость проведения выработки, м/мес;

t — время, отсчитываемое от момента обнажения угля (от начала проходки), мес;

n — размерный коэффициент, 1/мес.

В подготовительных выработках возможны опасные слоевые скопления метана у кровли. Отмечены случаи взрывов метана в таких выработках, хотя содержание газа в исходящей струе воздуха не превышало допустимого предела.

Слоевые скопления зависят от скорости воздуха и сечения выработки. Существует критическое число V , позволяющее определять условия для слоевого скопления

$$V = \sqrt[5]{\frac{24 V}{c \sqrt{S}}}, \quad (1.2)$$

где V — средняя скорость воздуха, м/с;

n — средняя концентрация метана в вентиляционной струе, %;

S — сечение выработки, м².

На основании исследований это число принято равным 2. При V больше двух слоевое скопление отсутствует, так как улучшается смешивание газа с воздухом. При V меньше двух возможны опасные скопления метана.

Суфлярное выделение метана происходит из крупных, видимых на глаз трещин и пустот. Количество выходящего метана может быть различным — от нескольких десятков до сотен тысяч м³/сут.

Внезапное выделение метана является опасной формой выхода газа, так как происходит в короткое время со значительным количеством газа и одновременным выносом разрыхленного угля.

Одна из причин внезапных выбросов — перераспределение горного давления. Чаще всего выбросы происходят в мягких углях, местах геологических нарушений, забоях и сопряжениях квершлагов с пластом.

В забоях калийных шахт газовыделения носят местный характер и не влияют на количество газа в исходящей струе.

В составе рудничного воздуха могут быть тяжелые углеводороды, особенно на малометаморфизированных углях. Этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан C_4H_{10} и пентан C_5H_{12} сходны с метаном по химическим свойствам. Они образуются при взрывных работах и могут явиться источником взрыва. Определение содержания их непосредственно в шахте представляет определенные трудности и возможно только с помощью хроматографов.

1.3.3. Допустимые нормы содержания метана в рудничном воздухе

Для газовых шахт согласно ПБ установлены следующие пять норм (% по объему): исходящая участка (лавы) — до 1,

исходящая шахты (крыла) — до 0,75, поступающая из других забоев — до 0,5, местное скопление в очистных и подготовительных выработках — до 2, около включаемых механизмов после снижения содержания CH_4 — 1.

Указанные места проверки допустимого содержания CH_4 приведены на рис. 1.1.

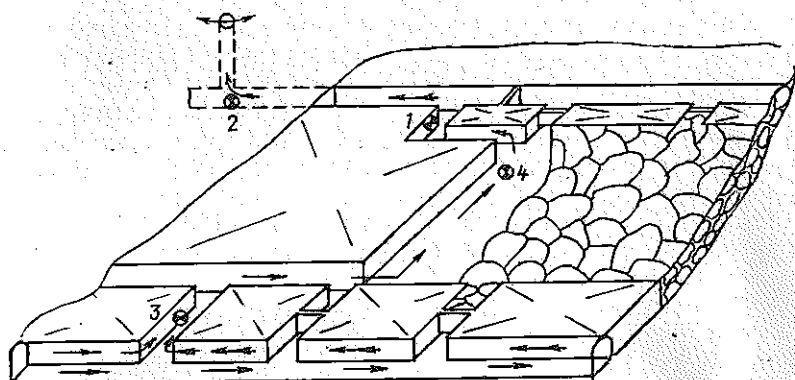


Рис. 1.1. Принципиальная схема основных выработок угольной шахты с движением свежей и исходящей струй:

1 — исходящая участка, показанная в вентиляционной печи; 2 — исходящая шахты, показанная при входе струи в вентиляционный ствол; 3 — исходящая шахты, поступающая из другого забоя (в данном случае из забоя откаточного штрека), показана в конвейерной печи; 4 — точка местного скопления (в лаве)

В зарубежных странах нормы на метан менее дифференцированы и в большинстве своем выше, чем в СССР (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Страна	Норма CH_4 на исходящей очистного забоя, % по объему	Норма на местное скопление CH_4 , % по объему	Примечание
ФРГ	До 1	До 1,8	Исходящая подготовительного забоя до 1,5% Предупреждение производится при CH_4 — 1%
Франция	До 1	До 2	
Англия	До 1,25	До 2,5	
Голландия	До 1,5	До 2	
Бельгия	До 2	До 3	
США	До 2	—	
Канада	До 2,5	—	

В связи с этим на шахтах Советского Союза существуют более безопасные условия труда и предъявляются более высокие требования к применяемому оборудованию. При пересмотре норм должен решаться ряд технологических горных вопросов и переход на полностью автоматический контроль за газосодержанием.

1.3.4. Газоносность месторождения

Под газоносностью месторождений понимается количество газа (м^3), содержащееся в единице веса (объема) полезного ископаемого или пород в их естественном состоянии.

В угольных бассейнах, начиная с поверхности земли, газы располагаются четырьмя зонами. Первые три зоны содержат метан в малых количествах, особенно первая зона (кора газового выветривания). Здесь содержатся, главным образом, CO_2 , N_2 и O_2 . Мощность первых трех зон — 100—300 м. В четвертой зоне имеются газы невоздушного происхождения, CH_4 и его гомологи.

Газоносность характеризуется следующими факторами.

Сорбционная способность. При повышенной сорбционной способности газоносность месторождений увеличивается. Она растет с повышением давления газа и уменьшается с повышением температуры. Количество сорбированного газа находится из выражения

$$x = \frac{a b P}{1 + aP}, \text{ см}^3/\text{г}, \quad (1.3)$$

где P — давление газа, $\text{г}/\text{см}^2$;
 a и b — коэффициенты Ленгмюра, имеющие размерность $[\text{см}^2/\text{г}]$, $b[\text{см}^3/\text{г}]$.

Газопроницаемость пород. Газоносность месторождений меньше при хорошей газопроницаемости. С увеличением глубины месторождения влияние газопроницаемости снижается, что видно из формулы

$$K = V' \eta \frac{\Delta l}{\Delta P}, \text{ дарси}, \quad (1.4)$$

где K — коэффициент Дарси, характеризующий легкость прохождения газа через массив, для угля $K=0,4—0,9$ миллидарси;

V' — скорость фильтрации газа, $\text{см}/\text{с}$;

η — коэффициент вязкости газа, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

Δl — длина фильтрации, см ;

ΔP — перепад давления, $\text{г}/\text{см}^2$.

Пористость. Газоносность выше при большой пористости пород. При пористых породах увеличивается содержание как свободного, так и сорбированного газа. На более высокую газоносность указывают и нарушение типа закрытых трещин, пологое падение, большая угленасыщенность и глубина работ.

Большинство угольных месторождений СССР газоносны, особенно Кузнецкий, Карагандинский и Донецкий (юго-запад) бассейны. Из-за увеличения глубины все чаще встречается более высокая газоносность рудных месторождений. К ним относятся Хибинские апатиты, Забайкальское месторождение золота, Норильское полиметаллическое (СССР), а также Онтарио (Канада) и др. В Кривом Роге (СССР) газ выделяется из боковых пород, амфиболитов.

Газ рудных месторождений имеет сложный, главным образом углеводородный, состав с неустановившимися пределами взрывчатости, что делает его также опасным, несмотря на относительно меньшее содержание по сравнению с угольными месторождениями.

1.3.5. Газообильность шахт

Количество газа, которое выделяется в шахте в течение суток, называется абсолютной газообильностью $Q_{абс}$.

$$Q_{абс} = 14,4 \text{ п } Q, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (1.5)$$

где п — содержание газа в исходящей струе шахты, %;

Q — количество подаваемого в шахту воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$.

Относительной газообильностью называется количество газа ($\text{м}^3/\text{сут}$), приходящееся на 1 т добываемого полезного ископаемого:

$$q_{отн} = \frac{Q_{абс}}{T}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (1.6)$$

где T — добыча полезного ископаемого в сутки, т.

По относительной газообильности шахты разбиваются на категории, согласно которым они должны строго выполнять режим работы и обеспечивать забои воздухом. Категории шахт приведены в табл. 1.5.

1.3.6. Прогноз газообильности

Прогноз производится каждый раз перед проектированием шахт и новых горизонтов. Существует прогноз горностатический и расчетный.

Таблица 1.5

Шахта	Категория				
	I	II	III	IV	V
				для угольных шахт	
Угольная, м ³ /т	До 5	5—10	10—15	Более 15	Шахты, опасные по суфлярным выделениям и внезапным выбросам
Рудная (CH ₄ +H ₂), м ³ /м ³	До 7	7—14	14—21	Сверхкатегорийные, более 21. Шахты, опасные по суфлярным выделениям и внезапным выбросам	—

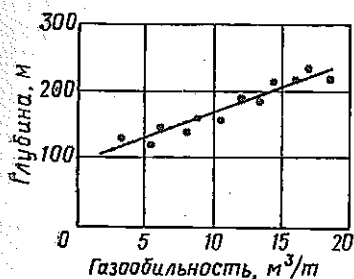


Рис. 1.2. Характер изменения газообильности с глубиной горных работ

При горностатическом прогнозе анализируются показатели метанообильности по данному месторождению за ряд лет. Например, по данным многократных наблюдений в Карагандинском бассейне, обработка которых велась под руководством Г. Д. Лидина, газообильность с глубиной растет прямо пропорционально, что видно из графика на рис. 1.2. При большом разбросе прямую находят способом наименьших квадратов.

Формула полученной прямой имеет вид

$$a = \frac{H - H_0}{q - q_0}, \quad (1.7)$$

где a — ступень метанообильности, или глубина (м), при снижении на которую горных работ газообильность шахты возрастает на 1 м³/т;

H — глубина горизонта, для которого определяется газообильность, м;

H_0 — глубина зоны газового выветривания, м;

q — искомая газообильность, м³/т;

q_0 — газообильность в пределах зоны газового выветривания, м³/т.

$$\text{Отсюда } q = q_0 + \frac{H - H_0}{a}.$$

В общем случае

$$q_n = q_{n-1} + \frac{H_n - H_{n-1}}{a} \quad (1.8)$$

В пределах современных глубин разработки угольных месторождений ступень метанообильности в среднем равна: для Донбасса — 35 м, Кузбасса — 25, Карагандинского бассейна — 20 м.

Формула (1.8) требует поправок, особенно при разработке с дегазацией или закладкой, так как эти процессы влияют на уменьшение величины газовыделения и исключают ее прямую зависимость от глубины разработки.

У некоторых высокометаморфизированных антрацитов наблюдается обратная метаносность, т. е. снижение содержания газа с глубиной работ. При расчетном методе газообильность шахты

$$q_{\text{ш}} = q_{\text{оч}} + q_{\text{в.п}} + q_{\text{выр}}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (1.9)$$

где $q_{\text{оч}}$ — газообильность очистного забоя;

$$q_{\text{оч}} = q_{\text{пл}} (1 - K_{\text{дег.пл}}) + K_{\text{в.п}} q_{\text{в.п}} (1 - K_{\text{дег.в.п}}); \quad (1.10)$$

$q_{\text{пл}}$ — относительное газовыделение из массива угля;

$$q_{\text{пл}} = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{в}}} K_{\text{пл}} (x - x_0); \quad (1.11)$$

$m_{\text{п}}$ и $m_{\text{в}}$ — полная и вынимаемая мощности пласта, м;

$K_{\text{пл}}$ — коэффициент, учитывающий газовыделение из массива, прилегающего к оконтуривающим выработкам, может быть принят равным 1,05—1,1;

x и x_0 — природная и остаточная (после выдачи угля на поверхность) газоносность, x_0 для Донецкого и Карагандинского бассейнов равна 4—8 м³/т, для Кузнецкого — 2,5—3 м³/т;

$K_{\text{дег.пл}}$ — коэффициент, учитывающий эффективность дегазации разрабатываемого пласта с помощью подземных скважин, $K_{\text{дег.пл}}$ колеблется в пределах 0,2—0,5;

$K_{\text{в.п}}$ — коэффициент увеличения газообильности очистного забоя за счет выделения метана из выработанного пространства, $K_{\text{в.п}} = 0,2$ при прямоточной схеме проветривания и $K_{\text{в.п}} = 1$ при возвратной;

$q_{\text{в.п}}$ — газовыделение в выработанном пространстве

$$q_{\text{в.п}} = K_{\text{ст}} (q_{\text{пл}} + q_{\text{гор}}); \quad (1.12)$$

$K_{\text{ст}}$ — коэффициент, учитывающий сравнительный объем газовыделения в выработанном пространстве, $K_{\text{ст}} = 0,1—0,15$;

$q_{\text{пор}}$ — газовыделение из боковых пород, $q_{\text{пор}} = 1,15 q_{\text{пл}}$;
 $K_{\text{дег.в.п}}$ — коэффициент, учитывающий искусственную дегазацию выработанного пространства, $K_{\text{дег.в.п}} = 0,1$;
 $q_{\text{выр}}$ — газообильность подготовительных выработок как результат газовыделения из боков выработки

$$q_{\text{выр}} = q_{\text{пл}} \frac{m_b \gamma_b \alpha}{2700 T}; \quad (1.13)$$

γ_b — скорость проведения выработки, м/сут;
 T — суточная добыча шахты (крыла, блока), в общую исходящую струю которой поступает воздух из подготовительной выработки, т;
 α — коэффициент, учитывающий время проведения.

При общей готовности выработки более чем за 1 мес

$$\alpha = 1 - 0,5^t. \quad (1.14)$$

При готовности менее чем за 1 мес

$$\alpha = 0,1 t_1^{0,46}, \quad (1.15)$$

где t и t_1 — время проходки, соответственно, мес и сут.

1.3.7. Управление газовыделением и дегазация

Уменьшение газообильности шахт с помощью изменения систем и схем проветривания называется управлением газовыделением. В понятие системы проветривания входит использование для целей вентиляции шахты всасывающего, нагнетательного или комбинированного проветривания.

При всасывающем проветривании разреженная по сравнению с поверхностью рудничная атмосфера способствует увеличению газовыделения. Однако при аварийной остановке главного вентилятора давление воздуха в шахте возрастает, приближаясь к атмосферному, а газовыделение уменьшается, что очень важно, так как отсутствие движения воздуха может вызвать быстрое образование опасных концентраций метана. По этой причине в СССР все газовые шахты имеют всасывающие вентиляторы.

Соответственно при нагнетательном проветривании при остановке вентилятора давление воздуха в шахте снижается, а газовыделение возрастает.

При комбинированном проветривании — одновременной работе всасывающего и нагнетательного вентиляторов — в очистном забое могут сложиться благоприятные условия, так как абсолютное давление здесь будет наименьшее (рис. 1.3).

На участке можно управлять газовыделением, применяя соответствующие схемы проветривания, представленные на

рис. 1.4, откуда видно, что наименьшее газовыделение характерно для схем проветривания с минимальным подсосом воздуха из выработанного пространства. К таким схемам относятся возвратноточная и прямоточная через целики, характеризующие столбовую и комбинированную системы разработки.

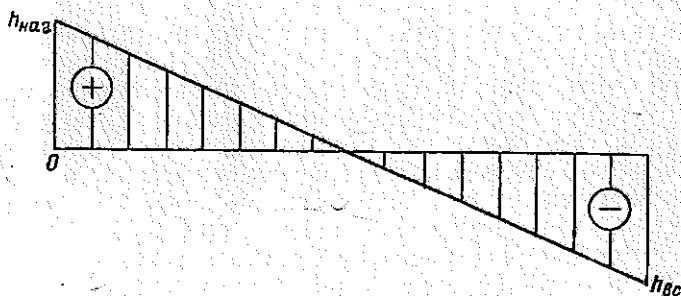


Рис. 1.3. Распределение депрессии в стволах и забое при комбинированной (нагнетательной $h_{наг}$ и всасывающей $h_{вс}$) системе проветривания

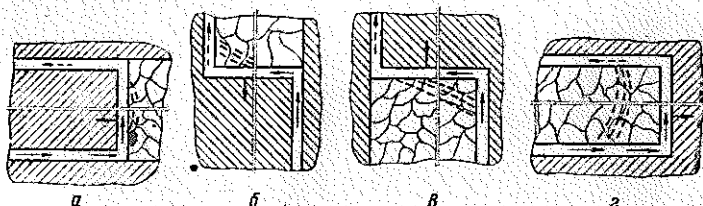


Рис. 1.4. Некоторые участковые схемы проветривания:

а — при столбовой системе разработки (схема вентиляции возвратноточная через целик); б — при комбинированной системе разработки с движением лавы по падению (схема вентиляции прямоточная через целик, при которой газовыделение в выработке в 1,5 раза больше схемы а); в — при комбинированной системе разработки с движением лавы по восстанью (схема вентиляции прямоточная через завал с газовыделением в два раза больше схемы а); г — при сплошной системе разработки (схема вентиляции возвратноточная через завал с газовыделением в 3,2 раза больше по сравнению со схемой а)

Эффективным средством снижения газосодержания пласта является дегазация — предварительное искусственное создание обнажений в полезном ископаемом с целью извлечения газа из массива.

В СССР дегазация проводится более чем на 300 шахтах. В 1983—1984 гг. было извлечено более 2 млрд. м^3 CH_4 (25% всего выбрасываемого метана). В 1984 г. каптаж метана был равен 175 млн. м^3 .

В дегазационную систему при всех способах входят: устройство для герметизации газоотдающих обнажений или пространств (до глубины 5—10 м), трубы и вакуумные насосы. Последние, как правило, устанавливаются на поверхности шахт. Герметизация должна быть следующей: при вакууме 0,007 МПа (мегапаскалей) подсос должен быть не более 80 м³/сут; при 0,012 МПа — не более 135 и при 0,02 МПа — не более 165 м³/сут.

В настоящее время существуют следующие основные способы дегазации: а) дегазация пластов и спутников с помощью скважин или выработок; б) дегазация выработанного пространства с помощью перфорированных газоприемников и скважин в купола; в) дегазация массива из естественных трещин и плоскостей, раскрытых гидрорасчленением пласта.

Предварительная дегазация осуществляется не только в период вскрытия и подготовки пластов, но и во время очистных работ впереди лавы, являясь в таком случае оперативной.

Эффективность дегазации оценивается коэффициентом

$$K_{\text{дег}} = \frac{q_k}{q_v}, \quad (1.16)$$

где q_k — количество каптируемого (извлеченного) метана; q_v — количество газа, которое выделилось бы в горные выработки при отсутствии дегазации.

Коэффициент дегазации в способах «а» колеблется в пределах 0,4—0,8; «б» — 0,2—0,3 и «в» — 0,5—0,6.

Для повышения газоотдачи пластов применяют торпедирование дегазационных скважин, электрогидравлическую обработку угольных пластов (в водонаполненных скважинах задаются импульсы под напряжением 5—8 кВ при емкости конденсаторных батарей 5—10 мкф с целью образования новых и раскрытия имеющихся трещин), физико-химическую обработку соляно-кислым раствором с целью увеличения пористости за счет вступления HCl в реакцию с минеральными наполнителями угля.

Применение способов дегазации в каждом случае экономически обосновывается. Установлено, что бурить скважины в спутник пласта с целью его дегазации эффективно при газообильности спутника не менее 12 м³/т, или 4500 м³ CH₄ в сутки. Эффективность отсоса газовоздушной смеси из выработанного пространства определяется количеством выходящего оттуда газа, оно должно быть не менее 4000 м³ CH₄ в сутки или соответствовать 50% общего газовыделения.

Эффективен способ дегазации с помощью пластовых скважин, так как кроме отсоса газа эти скважины в последующем можно будет использовать для нагнетания в пласт воды или специальных растворов с целью уменьшения крепости уг-

ля, пылеобразования и опасности самовозгорания пласта при его разработке (рис. 1.5). Также эффективным является способ дегазации с помощью подземного или поверхностного гидрорасчленения пласта, так как он способствует раскрытию и расширению трещин и макропор и приводит к значительному увеличению газопроводности угольного пласта.

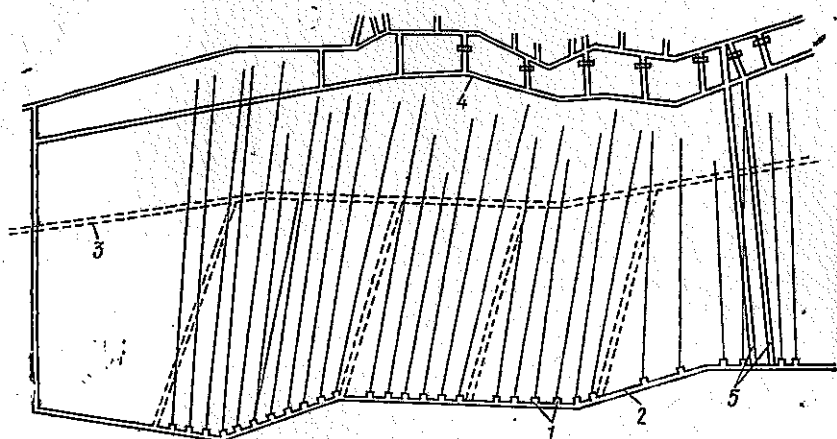


Рис. 1.5. Выкопировка с плана горных работ с расположением пластовых дегазационных скважин:

1 — буровые ниши со скважинами; 2 — конвейерный просек; 3 — откаточный полевой штрек; 4 — вентиляционный просек; 5 — разрезные печи

Важным вопросом является определение параметров дегазации. К ним относятся: диаметр скважин, угол наклона, длина, расстояние между скважинами, срок службы скважин, разрежение воздуха в лаве и др.

Многие геометрические параметры скважин зависят от способа дегазации и находятся в каждом конкретном случае. Срок службы, включение и выключение скважин зависят от системы разработки, расстояния до забоя и метановыделения.

Среднее разрежение в скважинах — 13—20 кПа (килопаскалей). Оно увеличивается при повышенном метановыделении и снижается при уменьшенном, т. е. при удалении от забоя в глубь массива.

Скважины могут иссякать и их метановыделение уменьшаться. Следовательно, срок службы таких скважин заканчивается. Вопрос об отключении скважин должен решиться положительно при выполнении следующего условия

$$C \geq \frac{C_{\phi} Q_{\phi} + 100 \sum q_{\text{м}}}{Q_{\phi}}, \quad (1.17)$$

где C и $C_{\text{ф}}$ — соответственно, допустимая и фактическая концентрация метана на исходящей участка;
 $Q_{\text{в}}$ — количество проходящего воздуха;
 $\Sigma q_{\text{м}}$ — суммарное газовыделение из скважин, которые намечаются к отключению.

1.3.8. Особенности разработки пластов, опасных по газу

Если на одном из пластов обнаружен метан, то разработка этого и других пластов шахты требует специальных мер профилактики и борьбы с газом. К опасным по газу относятся также пласты с суфлярными выделениями и внезапными выбросами.

Борьба с газом предусматривает комплекс мероприятий, включающих не только меры по профилактике взрыва, но и локализации его. Например, основными мерами против образования опасных концентраций CH_4 являются применение на шахтах восходящего проветривания, изоляция старых выработок перемычками и другими мерами против воспламенения газа — использование беспламенного взрывания горных пород, введение автоматического контроля рудничной атмосферы, повышение искробезопасности электрооборудования и т. д. Для локализации взрывов применяется разделение шахты на ряд изолированных участков, тщательная изоляция свежей и исходящей струй, соблюдение сечений выработок при проходке и др.

Важным также является соблюдение ПБ при работе с электрооборудованием, ведении взрывных работ, а также выполнение правил газового режима, введенного на шахтах, опасных по газу.

Большое внимание должно уделяться разработке пластов, опасных по внезапным выбросам газа, угля и пород. На шахтах Донецкого бассейна за период 1976—1982 гг. из 102 случаев внезапных выбросов 46 (46,1%) произошло из-за нарушения технологии очистных работ; 13 (12,7%) — из-за отсутствия мер профилактики, так как пласты считались неопасными по выбросам; 43 (42,2%) — из-за неэффективности используемых мер. Как показывает практика, для уменьшения опасности внезапных выбросов мероприятия по борьбе с ними должны проводиться в комплексе и определять особенности разработки пластов, опасных по внезапным выбросам.

К особенностям разработки пластов, опасных по внезапным выбросам, относятся следующие:

а) опережающая разработка защитного пласта, находящегося не далее 60 м от основного — на крутом падении и 45—100 м — на пологом;

б) проведение передовых дренажных скважин и возведение каркасной крепи в выработке при вскрытии опасного пласта;

в) применение систем разработки с минимальным количеством нарезных выработок;

г) использование региональной профилактической обработки угольного массива: нагнетание воды и растворов в пласт и др., особенно с учетом возможных зон геологических нарушений, повышенного горного давления, полостей произошедших выбросов и т. д.;

д) применение сотрясательного взрывания по углю, т. е. по специальному паспорту с целью искусственного вызова выброса метана. Однако этот способ имеет недостатки: возможны сильные выбросы с нанесением большого ущерба шахте и воспламенение газа;

е) производство в массиве взрывов большой мощности, торпедирование с целью снятия напряжений;

ж) нарезка щелей и пазов в очистном забое.

Основными мерами борьбы с суффлярными выделениями метана являются дегазация и бурение опережающих скважин.

1.4. РУДНИЧНАЯ ПЫЛЬ

1.4.1. Общие сведения о рудничной пыли

Рудничная пыль — мелкие и мельчайшие частицы полезного ископаемого и пустых пород (от 1 мм до долей 1 мкм), поступившие в воздух или осевшие на боках, почве и кровле выработок.

Вместе с воздухом эти частицы образуют аэрозоли или газодисперсные системы, которые разделяются на собственно пыль (размер частиц более 10 мкм, частицы падают с возрастающей скоростью), туман (10—0,1 мкм, частицы оседают с постоянной скоростью), дым (менее 0,1 мкм, частицы не оседают, они подобны газовым молекулам).

Данные о скоростях и времени снижения частиц пыли плотностью $2,45 \text{ Н/см}^3$ с высоты 1 м в спокойном воздухе приведены в табл. 1.6.

Источники образования рудничной пыли делятся на первичные — образование пыли и поступление ее в воздух при добычных процессах, и вторичные — поступление частиц в воздух в результате подъема осевшей пыли. Кроме того, возможен занос пыли в атмосферу шахт и карьеров с поверхности рудника.

Таблица 1.6

Диаметр, мкм	Частицы, мм	Скорость снижения, мм/с	Время оседания, с
100	$\frac{1}{10}$	786	1,3
10	$\frac{1}{100}$	7,86	132
1	$\frac{1}{1000}$	0,0786	10 800
0,1	$\frac{1}{10\,000}$	0,000786	Почти не оседают, дым

Количество пыли, поступающее в воздух из 1 т или 1 м³ отбитой массы, называется удельным выходом (г/т, г/м³). Количество пыли, выделяющейся при данном процессе в единицу времени, называется интенсивностью пылеобразования (мг/мин, г/мин). Количество пыли, поступившей в 1 м³ воздуха (мг/м³, г/м³), называется концентрацией, или запыленностью. Для выемки угля комбайном или с помощью буровзрывных работ выход и интенсивность равны, соответственно, 150 г/т и 90—150 г/м³, 200—600 и 150—240 г/мин.

При скорости движения рудничного воздуха до 5 м/с концентрация пыли около комбайна в Донецком бассейне составляет около 2500 мг/м³, в Карагандинском бассейне — 1200 мг/м³, в то время как атмосфера, содержащая 100 мг/м³ пыли и более, считается чрезвычайно запыленной.

По удельному выходу пыли шахты делятся на восемь групп: I — менее 50 г/м³; II — 50—100; III — 100—150; IV — 150—250; V — 250—400; VI — 400—600; VII — 600—1000; VIII — более 1000 г/м³.

Основными причинами взрывчатости пыли многих веществ являются: большая поверхность соприкосновения с O₂, способность присоединять кислород и выделять при нагревании много горючих веществ. Температура воспламенения, например, угольной пыли составляет 700—800° С, продуктов взрыва — 2300—2500° С. Сила взрыва пыли увеличивается в 8—10 раз, скорость распространения — в 2—3 раза при наличии в шахте сужений струи воздуха и загроможденности выработок.

Пределы взрывчатости угольной пыли — от 30—40 до 1500—2000 г/м³. Взрыв максимальной силы соответствует концентрации 112 г/м³. Взрывчатость пыли зависит от содержа-

ния в ней летучих веществ. Так, при V_r меньше 10% пыль не взрывается, при V_r больше 10% взрывается. До V_r , равному 15% пыль, слабовзрывчата. Взрыв максимальной силы соответствует V_r , равному 20%. Пыль взрывается при крупности от 10 до 1000 мкм. Взрыв максимальной силы может наступить при крупности пыли около 75 мкм.

Содержание в пыли золы уменьшает ее взрывчатость, присутствие CH_4 увеличивает приблизительно в 2—3 раза.

Пыль угля, боковых пород, хлопковая, сахарная и другая не является ядовитой. К ядовитым относится пыль свинцовая, марганцовая, ртутная и т. д.

Вредное действие на человека неядовитой пыли заключается в проникновении частиц размером 0,5—5 мкм в легкие и образование там фиброзной ткани (грубой соединительной ткани), не участвующей в дыхании. Частицы размером больше 5 мкм заносятся в легкие редко. Кроме того, обязательным условием для появления пневмокониозов (заболеваний легких под действием пыли) является присутствие в пыли SiO_2 .

Наиболее опасным заболеванием легких считается силикоз, вызываемый кварцевой пылью. Встречаются также заболевания типа антракоз (из-за угольной пыли), сидоро-силикоз (из-за железно-рудной пыли) и др.

Обыкновенный силикоз развивается в среднем 5—8 лет. Однако бывает быстродействующий силикоз, при котором переход из одной стадии в другую происходит быстро (срок заболевания им 1,5—2 года), а также поздний силикоз, возникающий неожиданно, когда человек уже давно оставил работу, связанную с пылью. Это наиболее редкая форма силикоза.

При любой форме силикоза ее симптомами являются боль в груди, кашель и, в зависимости от времени развития болезни, одышка при большом и небольшом напряжении и в спокойном состоянии.

Хорошо организованная борьба с запыленностью воздуха, а также осмотр и обследование рабочих, предоставление им дополнительных отпусков, питания и создание хороших жилищных условий способствуют уменьшению заболеваний рабочих пневмокониозами.

1.4.2. Нормы запыленности рудничной атмосферы

Санитарно-гигиенические нормы для шахт при наличии SiO_2 не более 10%: содержание породной пыли не должно превышать 2 мг/м³, угольной — 10 мг/м³.

Для карьеров нормы более детализированы и не являются такими жесткими, как на шахтах. Источники пылеобразования здесь находятся в окружении больших масс воздуха и посто-

янно контактируют с ними. Данные о нормах запыленности карьеров приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

SiO ₂ , %	Пыль	Норма, мг/м ³
Более 75	Породная	1
10—75	»	2
Более 10	Угольная	2
Менее 10	»	2
—	»	10

В ряде зарубежных стран санитарно-гигиеническая норма установлена по скоплению в 1 м³ рудничного воздуха частиц наиболее опасной крупности 0,5—5 мкм. Так, породной пыли должно быть не больше 450 частиц, антрацитной — 600 и прочей — 850 частиц.

Безопасная норма определяется по содержанию летучих веществ. Их должно быть не более 10%. При V_г более 10% пыль должна быть испытана в экспериментальной установке на взрывчатость.

1.4.3. Основы динамики аэрозолей

Осуществление успешной борьбы с пылью в горных выработках требует знания некоторых закономерностей движения пылевых частиц, их осаждения и повторного перехода в аэрозольное состояние. Исследования в области динамики аэрозолей проведены советскими учеными А. С. Бурчаковым, Г. И. Баренблатом, С. Ф. Шепелевым, В. В. Скобуновым, Н. Ф. Гращенковым, И. Г. Ищуком и др.

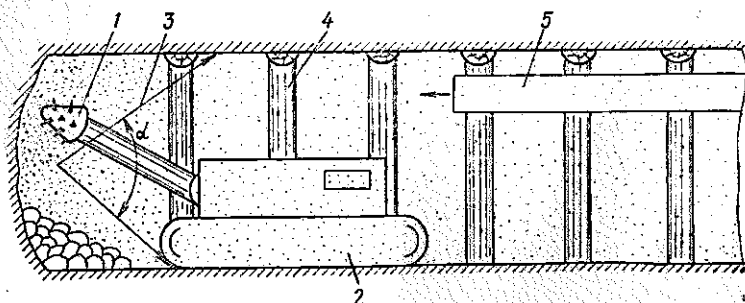


Рис. 1.6. Характер движения пылевых частиц при отбойке породы в подготовительной выработке:

1 — отбойный орган; 2 — проходческий комбайн; 3 — угол раскрытия струи; 4 — крепь выработки; 5 — вентиляционная труба

Траектории движения частиц пыли в пространстве выработок представлены на рис. 1.6. Расчеты траекторий частиц могут быть произведены на вычислительных машинах или способом численного интегрирования.

В первом приближении движение частиц пыли от пылеисточника по выработке можно представить следующим образом: от пылеисточника — к стенкам выработки, удар о них, последующее движение и гравитационное осаждение. Встречается и другой характер движения частиц пыли.

Концентрация пыли в поперечном сечении выработки зависит от изменения скоростей движения воздуха (скоростей пульсации воздуха) в этом сечении, т. е. от турбулентной диффузии.

Концентрация пыли

$$C_q = C_{z_0} \exp \left(- \frac{V_s y}{0,44 \nu R_e^{0,75}} \right), \quad (1.18)$$

где C_{z_0} — концентрация пыли у почвы выработки, мг/м³;
 V_s — скорость осаждения пыли, м/с;
 y — расстояние от почвы до стенки выработки, м;
 ν — кинематическая вязкость, м²/с;
 R_e — число Рейнольдса.

Изменение концентрации по длине выработки, определяющее отложение пыли на стенках, находится из выражения

$$C_x = C_0 10^{-K \frac{X}{R_e} f \left(\frac{V_n}{V_{cp}} \right)}, \quad (1.19)$$

где C_0 — запыленность воздуха в начальном сечении;
 K — коэффициент осаждения пыли, для пластов Донбасса изменяется от 0,01 до 0,17;
 X — расстояние от начального сечения, м;
 f — коэффициент пропорциональности между относительным падением концентрации пыли и расстоянием между двумя близкорасположенными сечениями;
 V_n — скорость движения пылевых частиц, м/с;
 V_{cp} — средняя скорость воздуха в выработке, м/с.

Наблюдениями в лавах установлено, что при скорости воздуха 0,3—0,7 м/с быстрое снижение запыленности за комбайном происходит на расстоянии 20—30 м.

Помимо гравитационного существует осаждение частиц аэрозоля под действием электростатических сил, так как в воздухе находится примерно 45% положительно и отрицательно заряженных частиц и 5—10% нейтральных. Если пылинки и препятствие заряжены разноименно, то частица будет притягиваться к препятствию и оседать.

Количество осаждающихся пылинок увеличивается, если в качестве препятствия воспользоваться водяными каплями, которым можно придать ориентированный заряд. Придание каплям заряда и разбрызгивание их производят с помощью специальных форсунок.

На рудничные стойки вблизи пылеисточника происходит инерционное осаждение пыли. Суть его состоит в следующем. Более крупные частицы пыли при подходе к стойке двигаются по инерции, ударяются о стойку и задерживаются на ней, в то время как поток воздуха обходит ее.

Выбор метода осаждения пыли зависит от гранулометрического состава частиц, глубины разработки и температуры боковых пород. С глубиной повышение влажности из-за орошения может отрицательно отразиться на условиях работы.

Подъем осевшей пыли происходит в том случае, когда сила воздушного потока превышает молекулярную силу притяжения пылинки к удерживающей поверхности. Количество пыли, сдуваемой воздушным потоком, содержащим пылинки, соизмеримые с осевшими пылинками, может быть найдено из выражения

$$J_n = \beta \rho S^1 (V - V_{кр}), \text{ мг/с}, \quad (1.20)$$

где β — параметр, характеризующий размеры частиц;
 ρ — плотность воздуха, мг/м³;
 S^1 — площадь запыленной поверхности, м²;
 $V_{кр}$ — критическая скорость воздуха, при которой начинается сдувание пыли, равная 5—6 м/с.

Для очистных забоев угольных шахт наименьшая запыленность воздуха при пылеобразовании из забоя возможна при скорости струи 1,5—3 м/с. С уменьшением скорости до 0,9 м/с запыленность воздуха мало увеличивается и только при дальнейшем снижении скорости запыленность резко растет. Для горизонтов грохочения и скреперования рудных шахт минимальная скорость воздуха, обеспечивающая вынос пыли, равна 0,5—0,75 м/с.

В подготовительных забоях шахт наименьшая запыленность достигается при скорости движения воздуха 0,4—0,6 м/с.

В карьерах запыленность атмосферы находится в зависимости от скорости и направления ветра. При скорости ветра 3 м/с занос пыли в карьер может достигать до 30% от общего пылеобразования.

1.4.4. Меры борьбы с рудничной пылью

Для новышения эффективности борьбы с рудничной пылью необходимо в шахту или карьер подавать незагрязненный

№ п.п.	Классификационный признак	Наименование способа (меры борьбы)	Образование и основные параметры использования способа	Область применения
1	Исключение (или значительное уменьшение) образования пыли косвенным методом	Применение отбойных органов крупного скола Предварительное нагнетание в полезное ископаемое воды или растворов	Щековый исполнительный орган, длинный и короткий забон Насосные установки, буровой станок, дозаторы и др. Добавки в воду: смазочные ДБ (0,2—0,5%), глинерин (или катамин 0,2—1%), индустриальное масло (0,2—2%), жидкое стекло (0,1—0,9%) и др. Параметры: длина скважин — до 25 м, диаметр — 45—55 мм, расстояние между скважинами — 10—30 м, удельный расход воды — 10—40 л/т, давление — 29 МПа, темп нагнетания — до 30 м/мин	При разработке угля При разработке угля и пород
2	Подавление пыли при ее образовании	Применение высоконапорных форсунок Пневмогидроподавление (рис. 1.7) Подавление пеной	Конусная форсунка, фильтр, редуктор. Давление воды — 5,8—9,7 МПа. Расход воды — 15—20 л/т, добавки ДБ Краны-тройники, рукава для подачи воды и сжатого воздуха. Давление воды и сжатого воздуха — 0,48—0,58 МПа, расход соответственно — 25 л/т и 0,4 м³/т Пена различной кратности. Пеностовы или пеногенераторы. Расход 3% раствора пенообразователя — 12—15 л/т при комбайновой выемке	Поверхность шахт и карьеров; угольные комбайны Очистные и проходческие комбайны Очистные и проходческие комбайны. Группы запыленности (I—VII)

№ п.п.	Классификационный признак	Наименование способа (меры борьбы)	Оборудование и основные параметры использования способа	Область применения
3	Улавливание распространяющейся в воздухе пыли	Орошение	А. Туманообразователи (рис. 1.8). Количество воздуха не менее 50 м³/с Б. Водяные завесы — однорядные и многорядные ВЗ-1, ВЗ-2. Расход воды не менее 0,1 л/м³ проходящего воздуха В. Завеса с подзарядкой воды электрическим зарядом 2,7·10⁻⁶ Кл/г. Процент улавливания пыли — 0,7—5,6 мкм — 60%	Поверхность шахт и карьеров. Горные выработки, места перегрузки
4	Нейтрализация освещенной пыли	Сухое пылеулавливание	А. Шахтный пылесос, 130 м³/мин, очистка на 96% Б. Аспирационный улавливатель: ткань, инерционная ультразвуковая или гидроакустическая камера	Пласты угля V—VIII групп запыленности Породы. Глубокие горизонты. Калийные шахты
5	Нейтрализация условий воспламенения пыли	Связывание пыли полимерами, растворами Применение перегретого пара Применение бикарбоната натрия	А. Водный раствор полимера К-4 Б. Витумная эмульсия В. Раствор хлористого кальция (20—35%) и смачивателя ДБ (1—2%) Специальный взрываеваемый термостат. Температура перегретой воды — 190—200°С. Расход воды при сечении выработки 8 м² — 30—40 кг, пара — 9—12 м³. Полная нейтрализация — 30—40 м² Порошок ПСБ-2 в взрываеваемых пакетах, расход 420 г/м³	Бока выработок, почва, борта карьеров, стволы Для борьбы со взрывными газами в выработках

№ п.п.	Классификационный признак	Наименование способа (меры борьбы)	Оборудование и основные параметры использования способа	Область применения
6	Локализация взрывов пыли	Ослабление выработок (или побелка)	Добавка в пыль инертных веществ (смесь известняка, доломита, ракушечника). Нормы ослабления — минимальное количество инертных, необходимое для нейтрализации взрывчатых свойств. Находят по выражению*	Для предотвращения взрывов осевшей пыли
		Установка сланцевых (или водяных) заслонов	Инертная пыль (или вода) заполняет сосуды, легко опрокидывающиеся при взрыве или управляемые. Нормы инертной пыли в сланцевых заслонах 400 кг на 1 м ³ сечения основной выработки и 200 кг для других выработок. Вода в сланцевых заслонах должна быть из расчета 120 л на 1 м ³ . Основные сланцевые заслоны устанавливаются на расстоянии не менее 60 м и не более 300 м от забоев. Водяные заслоны, соответственно, 75 и 250 м	Горные выработки

* Формула для минимального количества инертных (1 г на 100 г рудничной пыли).

$$X = \frac{100Z - 100e}{100 - Z},$$

(1.21)

где Z — требуемая зольность ослабленной пыли; для негасовых шахт Z = 60%, для газовых — Z = 75%;
e — естественная зольность неослабленной пыли, % на 100 г рудничной пыли).

воздух. На поверхности предусматриваются озеленение и асфальтирование территории, закрепление почвы и отвалов, соблюдение санитарно-защитных разрывов и другие мероприятия, предотвращающие загрязнение подаваемого воздуха.

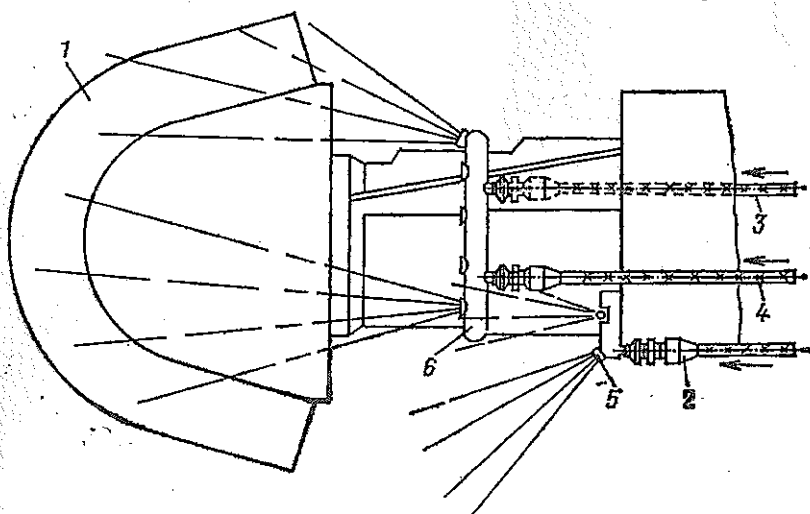


Рис. 1.7. Схема установки форсунок пневмогидроорошения с предварительным смесителем на резов угольного проходческого комбайна:

1 — коронка реза; 2 — подвод водовоздушной смеси с малым содержанием сжатого воздуха; 3 — подвод водовоздушной смеси; 4 — дополнительный подвод сжатого воздуха; 5 — форсунка коллектора с направлением завесы в зону падения отбитого угля; 6 — коллектор с направлением форсунок в зону резания угля коронкой

Существует большое количество разнообразных способов борьбы с рудничной пылью. Надо стремиться применять их в комплексе, так как отдельные способы могут дополнять друг друга. Классификация и характеристика способов борьбы с рудничной пылью приведена в табл. 1.8.

Из табл. 1.8 видно, что все способы борьбы с пылью разбиты на шесть групп. Первые две включают меры борьбы с образованием пыли и ее подавлением при отделении полезного ископаемого.

Как указано в табл. 1.8, при предварительном нагнетании воды в полезное ископаемое или при разбрызгивании — в забое в нее добавляют различные вещества, делающие ее более вязкой и способной подавлять в большем количестве частицы пыли, особенно респираторные, т. е. пневмокониозоопасные. Эти добавки называются ПАВ (поверхностно-активные вещества), например смачиватель ДБ (монодиалкилфениловый эфир полиэтиленгликоля). Следует учесть, однако, возможность появления из-за ПАВ аллергических заболеваний.

В некоторых случаях используемая для борьбы с пылью вода находится в замкнутом цикле, что требует ее постоянной очистки различными фильтрами. Материалом фильтров являются песок, химические вещества, различные пластины и др. В пластинчатом фильтре используется латунная сетка с размером ячеек 100 мкм.

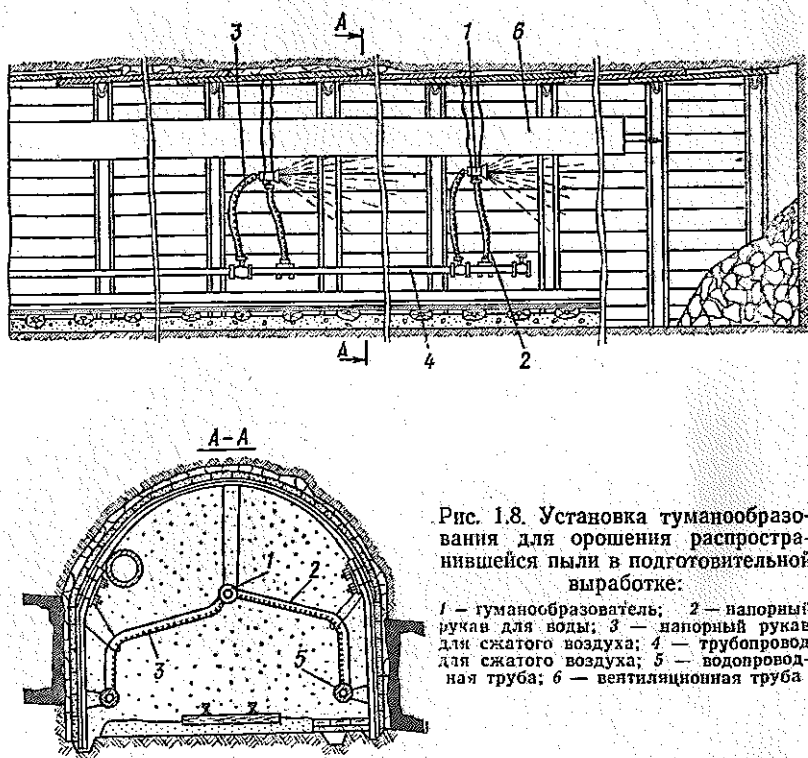


Рис. 1.8. Установка туманообразования для орошения распространявшейся пыли в подготовительной выработке:

1 — туманообразователь; 2 — напорный рукав для воды; 3 — напорный рукав для сжатого воздуха; 4 — трубопровод для сжатого воздуха; 5 — водопроводная труба; 6 — вентиляционная труба

Существует на горных предприятиях и другая чисто технологическая пыль, например, образующаяся при возведении торкрет-бетонной крепи (до 400 мг/м^3 при бетонировании без опалубки). Борьба с этой пылью аналогична вышеприведенным способам, главным из которых является подавление ее при выходе смеси затворенного бетона из рукава.

Применяемые в СССР меры борьбы с рудничной пылью способствуют созданию в шахтах и карьерах безопасных условий труда, уменьшению заболеваний пневмокониозами.

2. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ШАХТ И КАРЬЕРОВ

2.1. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА

К климатическим факторам рудничного воздуха относятся температура, влажность и скорость движения воздуха. Они определяют среду для нормального теплообмена человека. Особенно важным является теплообмен при работе в очистном забое. В смену теплоотдача достигает 4500—5000 ккал. С повышением температуры теплообмен человека ухудшается. Перегрев организма может вызвать тепловой удар, т. е. слабость, учащенное дыхание, судороги мышц и даже смерть от гипертермии. Так, при температуре воздуха в очистных забоях 28—30° С производительность труда снижается на 20—40%. С повышением температуры действие влажности рудничного воздуха становится более вредным, у человека может происходить резкая отдача тепла, главным образом путем испарения. В смену рабочим может быть потеряно более 5—8 кг воды и 20—50 г соли. Поэтому питьевая вода должна содержать 0,2—0,4 % соли и быть газированной.

В карьере возможен солнечный удар — нагревание головного мозга до температуры 40—42° С. В зимнее время рудничный воздух может переохладиться, что отрицательно сказывается на тепловых условиях шахт и особенно карьеров.

2.2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ГРАДИЕНТ И ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ СТУПЕНЬ

С углублением горных работ температура пород повышается равномерно: на каждые 100 м на 3,3° С, что называется температурным градиентом. Определение температуры пород на заданной глубине производится по следующей зависимости:

$$t_n = t_{\text{ср.в}} + \frac{H - H_0}{\Gamma_{\text{ср}}} , \quad (2.1)$$

где $t_{\text{ср.в}}$ — среднегодовая температура воздуха на поверхности данного района, град;

H — глубина залегания пород, м;

H_0 — глубина зоны с постоянной температурой, $H_0 = 15—50$ м;

$\Gamma_{\text{ср}}$ — геотермическая ступень, или глубина в метрах, соответствующая приросту температуры на 1° С.

Геотермическая ступень изменяется в широких пределах: для битуминозных пород — 10—15 м/град, угленосных — 30—

40 и рудоносных — 45—130 м/град. В табл. 2.1 представлены данные по температуре пород и геотермической ступени для отдельных месторождений.

Таблица 2.1

Район	Глубина разработки, м	Температура пород, град	Геотермическая ступень, м/град
Донбасс (СССР)	600	20—24	29—38
Кузбасс (СССР)			30
Карагандинский бассейн (СССР)	450	13	35
Кривой Рог (СССР)	700	17	60—70
Карабашский рудник (СССР) (медно-колчеданное месторождение)	660	9,5	55—60
Садонский рудник (СССР) (полиметаллическое месторож- дение)	1000	28,5	64
Конар (Индия) (золото)	3250	66,6	64
Садбери (Канада) (медь)	1800	32—35	63
Ранд (ЮАР) (золото)	3000	46,5	108
Тарква (Гана) (золото)	945	35,6	95,5

Тепловой баланс шахт складывается, главным образом, из тепла, полученного воздухом в результате отдачи температуры от массива пород (конвективный процесс, до 75%), окислительных процессов, сжатия воздуха в стволах (адиабатический процесс) и в меньшей степени из тепла местных источников (шахтная вода, транспортирование отбитого полезного ископаемого, буровзрывные работы, механизмы, люди и др., 25%).

В карьерах температура воздуха на рабочих местах мало отличается от температуры воздуха на поверхности. Ее изменение подчинено сухоадиабатическому температурному градиенту, составляющему 1°C на 100 м глубины.

Температура, как и влажность, в карьере имеет суточные колебания: большие в летнее и осеннее время и меньшие — в зимнее. Нарушения теплового режима и условий работы создают туманы. Благоприятными условиями для тумана в карьерах являются повышенная влажность (выделение влаги из пород) и местные охлаждения воздуха. Стимулом для появления радиационных туманов служат частицы пыли в воздухе, являющиеся при определенных метеорологических условиях центрами конденсации паров. Туманы могут приводить к увеличению легочных заболеваний из-за высокой влажности, а также из-за того, что мельчайшие капельки коагулируют вредные примеси.

2.3. НОРМЫ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ШАХТ

Нормы тепловых условий шахт устанавливаются по скорости воздуха и максимальной температуре (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Выработка	Максимально допустимая скорость движения воздуха, м/с	Минимально допустимая скорость движения воздуха, м/с, при температуре, град				
		до 15	15—20	20—22	22—24	24—26
Подготовительная	4	0,15	0,3	1	1,5	2
Очистная	4	0,25	0,6	1	1,5	2
Прочие	6—15	—	—	—	—	—

При температуре воздуха свыше 26°С в горных выработках должны приниматься меры по ее снижению и кондиционированию воздуха, т. е. созданию нормальной тепловой эффективности атмосферы за счет регулирования температуры, влажности и скорости воздуха.

В зимнее время в шахты должен поступать теплый воздух с тем, чтобы избежать заклинивания сосудов, падения льда, разрушения крепи стволов и так как при холодном воздухе резко возрастает количество простудных заболеваний. Нормы подогрева воздуха следующие: температура воздуха, выходящего из калорифера, не более 70°С, выходящего из канала в ствол не менее 2°С.

На зарубежных шахтах предельно допустимая температура рудничного воздуха выше (в Бельгии и Франции — 34°С, ФРГ — 28°С и т. д.), что ухудшает условия труда работающих.

2.4. РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

Тепловой режим характеризуется главным образом температурой воздуха в очистном забое, которая складывается из температуры воздуха на поверхности и прироста ее при движении по горным выработкам.

$$t_a = t_{ср.в}'' + \Delta t^I + (\Delta t^{II} + \Delta t^{III} + \Delta t^{IV}) K', \quad (2.2)$$

где $t_{ср.в}''$ — средняя температура воздуха на поверхности шахты;

Δt^I — приращение температуры в стволе;

$(\Delta t^{\text{II}} + \Delta t^{\text{III}} + \Delta t^{\text{IV}})$ — приращение тепла в прочих подземных выработках;

Δt^{II} — приращение температуры воздуха в результате теплообмена массив — воздух;

Δt^{III} — приращение температуры воздуха в результате теплообмена шахтная вода — воздух;

Δt^{IV} — технологическое тепло (приращение температуры воздуха из-за окисления пород, сдвигения толщ; тепловыделения из массива твердеющей закладки, работы электрооборудования и др.);

K' — коэффициент, учитывающий изменение в данной местности температурного градиента.

В стволе при движении воздуха вниз его температура повышается приблизительно на 1°C на каждые 100 м глубины. Если воздух движется вверх по стволу, т. е. расширяется, то температура его на каждые 100 м снижается на $0,8\text{--}0,9^\circ\text{C}$.

Подсчет указанной температуры может быть произведен по формуле адиабаты (не учитывающей, однако, изменения влагосодержания воздуха в стволе)

$$t_k = t_n \left(\frac{P_n}{P_k} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (2.3)$$

где t_k и t_n — абсолютная температура воздуха в стволе, соответственно, конечная и начальная, град;

P_n и P_k — начальное и конечное давление воздуха;

k — показатель адиабаты, или отношение теплоемкости воздуха при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме, $k=1,41$.

Тогда

$$\Delta t^{\text{I}} = t_k - t_n. \quad (2.4)$$

Указанное приращение может быть найдено по другому выражению

$$\Delta t^{\text{I}} = \Delta t_0 \frac{H}{100}, \quad (2.5)$$

где H — глубина ствола, м;

Δt_0 — приращение температуры на каждые 100 м глубины ствола.

В околоствольном дворе температура воздуха может незначительно снизиться из-за большой влажности.

Повышение температуры воздуха в результате теплоотдачи массив—воздух происходит неравномерно с течением времени: больше в первый период после проходки выработки. По мере образования вокруг выработки зоны с охлажденной породой, теплоотдача и теплопроводность которой небольшие, рост температуры проходящего воздуха незначителен.

Нагревание воздуха зависит от скорости его движения, состояния стен выработок и температурного напора (разности между температурой породы в массиве и воздуха).

Температура рудничного воздуха в любом сечении выработки в результате нагрева от массива при конвективном процессе находится из уравнения теплопроводности Ньютона при условии, что температура пород постоянна и не равна температуре воздуха

$$t_a = t_n - \frac{t_n - t_1}{\frac{DPL}{e G C_p}}, \quad (2.6)$$

где t_n — температура пород в массиве, град;

t_1 — температура поступающего в выработку воздуха, град;

D — коэффициент теплоотдачи от породы к воздуху, ккал/м²·град·ч, для практических расчетов

$$D = 2\varepsilon \frac{\gamma^{0.8} V^{0.8} P^{0.2}}{S^{0.2}}; \quad (2.7)$$

ε — коэффициент шероховатости стенок выработки, зависящий от эквивалентного диаметра крепи, шага ее установки и величины выступов шероховатости; для выработок с круглой крепью $\varepsilon = 1,85$ — $3,1$, квадратной — $\varepsilon = 2$ — $3,35$ и без крепи — $\varepsilon = 1$ — $1,75$;

γ — плотность воздуха, кг/м³;

V — скорость движения воздуха, м/с;

P — периметр выработки, м;

S — сечение выработки, м²;

L — длина выработки, м;

G — весовой расход воздуха, кг/ч;

C_p — теплоемкость воздуха, ккал/кг·град.

Пример. Дано $t_n = 40$, $t_1 = 10$, $P = 10$, $\varepsilon = 2,2$, $\gamma = 1,25$, $V = 3$, $S = 6,3$, $C_p = 0,24$, $L = 150$.

Находим $D = 9,2$ ккал/м²·град·ч; $G = SV\gamma = 8500$ кг/ч и $t_a =$
 $= 40 - \frac{40 - 10}{2,7 \frac{9,2 \cdot 10 \cdot 150}{8500 \cdot 0,24}} = 24,7^\circ \text{C}.$

Таким образом, на длине выработки 150 м воздух нагреется из-за конвекции на $\Delta t'' = 24,7 - 10 = 14,7^\circ \text{C}$.

Повышение температуры рудничного воздуха в результате теплообмена с шахтной водой, находящейся в канавке, определяется по выражению

$$\Delta t''' = \frac{D_v F_k (t_{\text{вод}} - t_1)}{3600 G \gamma C_p}, \quad (2.8)$$

где D_v — коэффициент теплоотдачи от воды к воздуху, ккал/м²·град·ч;

F_k — поверхность зеркала воды в канавке, м²;

$t_{\text{вод}}$ — температура воды в канавке, град.

По аналогичной зависимости находится повышение температуры рудничного воздуха в результате теплообмена между воздухом и транспортируемым отбитым полезным ископаемым.

Влияние на повышение температуры воздуха других местных источников незначительно: лампы накаливания — на $0,12^\circ \text{C}$ на 1 км горизонтальной выработки, трансформаторы и силовые кабели — $0,05^\circ \text{C}$, электромоторы электровозов — $0,1^\circ \text{C}$, тепловыделение людей — $0,4^\circ \text{C}$ и прочие непостоянные источники — на $0,3^\circ \text{C}$. В целом приращение температуры в подземных выработках, кроме стволов, составляет около $0,1^\circ \text{C}$ на 100 м.

В карьерах возможно прогнозирование туманов. Температуры появления туманов и образования росы отличаются друг от друга не более чем на 1°C , поэтому необходимое понижение температуры

$$\Delta T_n = T_0 - T_p + 1, \quad (2.9)$$

где T_0 — начальная температура; принимается в момент, близкий к заходу солнца;

T_p — температура точки росы.

Если левая часть уравнения (2.9) больше на 1°C фактического снижения температуры ΔT , то появление тумана ночью не ожидается; если $\Delta T > T_0 - T_p + 1$, то до восхода солнца туман образуется.

2.5. РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ШАХТ И КАРЬЕРОВ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА

Под кондиционированием понимается процесс создания нормальной тепловой эффективности рудничной атмосферы за счет регулирования температуры, влажности и скорости дви-

жения воздуха. Предупредить повышение или обеспечить снижение температуры рудничного воздуха шахт можно различными способами, которые разбиваются на две основные группы: без применения и с использованием холодильных машин.

В первую группу входит большое количество способов, предусматривающих изменение систем разработки и проветривания горных выработок, теплоизоляцию боков выработок, использование воды, льда, сжатого воздуха и др. С помощью этих способов, являющихся менее трудоемкими и экономически выгодными по сравнению с применением холодильных машин, в первую очередь должна решаться задача снижения температуры рудничного воздуха. Снижение тепла может быть достигнуто в 8—10 раз и более.

Изменение систем разработки предусматривает, главным образом, укорочение путей движения воздуха к забоям, в результате чего его температура будет меньше.

В проветривании выработок для борьбы с высокими температурами может увеличиваться количество воздуха, применяться нисходящее проветривание, охлаждаться подаваемый воздух в зоне с $t_n = \text{const}$ и др. При нисходящем проветривании воздух в забой поступает с верхнего горизонта, поэтому имеет меньшую температуру. Указанное охлаждение может производиться с помощью пропуска воздуха через систему шурфов (в жаркие дни температура может быть снижена до 10°C).

Теплоизоляция стен выработок производится с помощью полиэтиленовых покрытий, минеральной ваты, опилок и других материалов. Температура рудничного воздуха может снизиться на $2\text{--}4^\circ\text{C}$.

Для борьбы с высокими температурами используется и свойство воды и сжатого воздуха поглощать при испарении (или расширении) тепло. Распыляется либо простая водопроводная вода, либо вода талых источников. Сжатый воздух выпускается из магистральных трубопроводов.

Эффективным средством нарушения теплообмена между шахтной водой и воздухом являются улавливание воды на вентиляционном горизонте, осушение выработок и дозировка воды на орошение.

При борьбе с высокими температурами применяется охлаждение массива с помощью дренирования воды по системе скважин. Диаметр скважин — 70—500 мм, расход воды — $30\text{ м}^3/\text{ч}$, время циркуляции — около 3 мес, себестоимость охлаждения — около 0,3 руб/м, для сравнения себестоимость у холодильных машин — около 0,4 руб/м.

Холодильные машины, применяемые в горном деле, классифицируются по месту их установки и виду используемой энергии.

1. Центральные поверхностные машины:
а) с расположением на поверхности всех узлов машины;
б) с расположением воздухоохладителя в околоствольном дворе (или забое).

2. Центральные подземные машины:
а) с расположением всех узлов машины в околоствольном дворе;

б) с расположением градирни (или теплоносителя) на поверхности шахты (или вышележащих горизонтах).

3. Участковые и местные холодильные установки.

Эксплуатация центральных поверхностных и подземных холодильных машин характеризуется простотой в размещении узлов и возможности задействования различных хладагентов. Однако подача холодного воздуха (или растворов) на большое расстояние приводит к потере холода, а также к возможному появлению нежелательной естественной тяги воздуха из-за охлаждения ствола. В участковых и местных машинах потерь холода меньше, однако они менее производительны.

По виду используемой энергии холодильные машины делятся на компрессионные, теплоиспользующие (абсорбционные) и термоэлектрические. Первые бывают паровые и газовые (воздушные).

По ПБ в угольных и сланцевых шахтах разрешается применять только компрессионные машины, работающие на нетоксичных газах.

Принцип действия парокompрессионной холодильной машины состоит в создании кругового циклического движения хладагента с самой низкой его температурой в испарителе, через который проходит вода (или водяной раствор NaCl и CaCl), несущая тепло от рудничного воздуха.

В холодильную машину входит оборудование цикла хладагента (компрессор 1, конденсатор 2, регулирующий вентиль 3 и испаритель 4), воздухоохладителя (змеевик 5 и насос 6), охладителя конденсаторной воды (насос 7 и градирня 8) и оросительной системы (химочиститель 9, насос 10 и фильтр 11) (рис. 2.1).

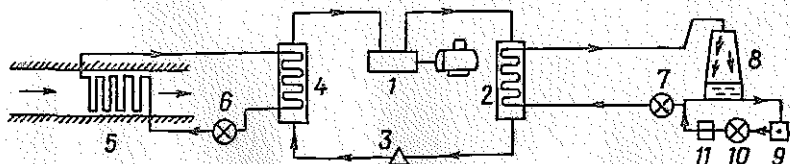


Рис. 2.1. Принципиальная схема парокompрессионной холодильной машины:
1 — компрессор; 2 — конденсатор; 3 — вентиль; 4 — испаритель; 5 — змеевик; 6 — насос цикла воздухоохладителя; 7 — насос цикла склади́теля конденсаторной воды; 8 — градирня; 9 — химочиститель; 10 — насос цикла оросительной системы; 11 — фильтр

В качестве хладагента используются, главным образом, аммиак, хладон (фреон) и углекислота. Более широкое применение из-за безопасности и низкой температуры кипения находит фреон. Применение аммиака ограничено, так как газ вреден и способен взрываться в смеси с воздухом.

Установлен следующий порядок движения хладагента. После получения тепла от рудничного воздуха пары хладагента с помощью компрессора сжимаются в конденсаторе, где под действием охлажденной конденсаторной воды превращаются в жидкость. С помощью регулировочного вентиля происходит дальнейшее снижение давления и температуры хладагента. Затем жидкий хладагент превращается в испарителе в пар, снижая при этом температуру теплоносителя воздухоохлаждающего цикла и т. д.

Теплый рудничный воздух охлаждается, проходя через змеевик воздухоохладителя.

В качестве центральных поверхностных холодильных установок в настоящее время применяются мощные агрегаты типа ХТМФ-125-1000, ХТМФ-235м-2000 и др., в качестве центральных подземных ХТМФ-235м-2000, а также ХТМФ-248-4000 (Х — холодильная, Т — турбокомпрессорная, М — машина, Ф — фреоновая, 2 — число ступеней, 48 — наружный диаметр рабочих колес, м — модернизированная, 4000 — холодопроизводительность в тыс. ккал/ч).

Воздухоохладители делятся на контактные и поверхностные. В контактных воздухоохладителях холод рудничному воздуху передается непосредственно от раствора, в поверхностных — с помощью гладкой трубы или змеевика, по которым циркулирует раствор. Ребристый воздухоохладитель показан на рис. 2.2, а. Зависимость температур воздуха и раствора от длины воздухоохладителя показана на рис. 2.2, б, где t_1 и t_w — соответственно, температура воздуха и раствора, Δt_1 и Δt_w — разность входящих и выходящих температур раствора и воздуха, Δt_k и Δt_g — разность температур на концах воздухоохладителя.

Количество получаемого воздухом холода находят по выражению

$$Q_x = F D' \Delta t_m, \quad (2.10)$$

где F — поверхность теплообмена, m^2 ;
 D' — коэффициент теплоотдачи, $D' \cong 2 \text{ ккал}/m^2 \cdot \text{град} \cdot \text{ч}$;
 Δt_m — средняя разность между входящей температурой воздуха и раствора.

В целом холодопроизводительность машины рассчитывается для самого жаркого периода времени

$$Q = K[G(i_1 - i_2) + Q_0], \quad \text{ккал/ч}, \quad (2.11)$$

где K — коэффициент запаса, учитывающий потери холода в установке, $K = 1,05 - 1,2$;
 i_1 и i_2 — теплосодержание входящего и выходящего из установки воздуха, ккал/кг;
 Q_0 — потери холода в сети трубопроводов, ккал/ч; находятся по зависимости, аналогичной (2.10).

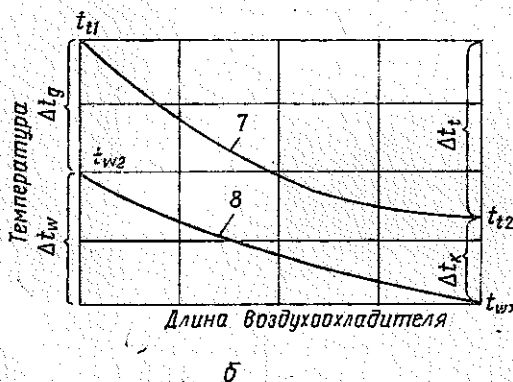
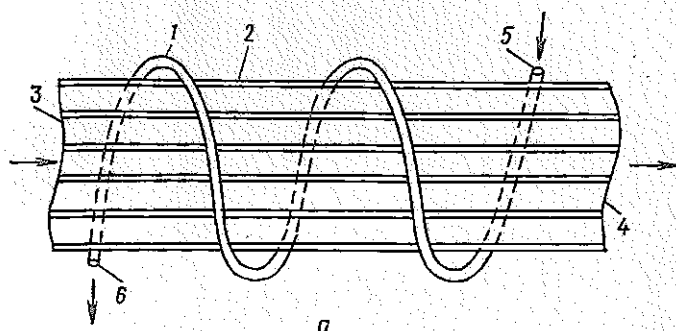


Рис. 2.2. Эффективность работы поверхностного воздухоохладителя:

a — общий вид воздухоохладителя; b — график зависимости изменения температуры от длины воздухоохладителя; 1 — змеевик с охлаждающим раствором; 2 — трубопровод с охлаждаемым воздухом; 3 — вход воздуха в воздухоохладитель; 4 — выход холодного воздуха; 5 — вход в змеевик воздухоохладителя охлаждающего раствора; 6 — выход раствора; 7 — график изменения в воздухоохладителе температуры воздуха; 8 — график изменения в воздухоохладителе температуры раствора

На рис. 2.3 показано применение участковой холодильной установки в двух лавах на крутом падении. В установке конденсаторная вода подается на вентиляционный горизонт и затем охлажденная возвращается к холодильной установке. Та-

ким образом, тепло конденсата передается рудничному воздуху, массиву горных пород и шахтной воде на вентиляционном горизонте.

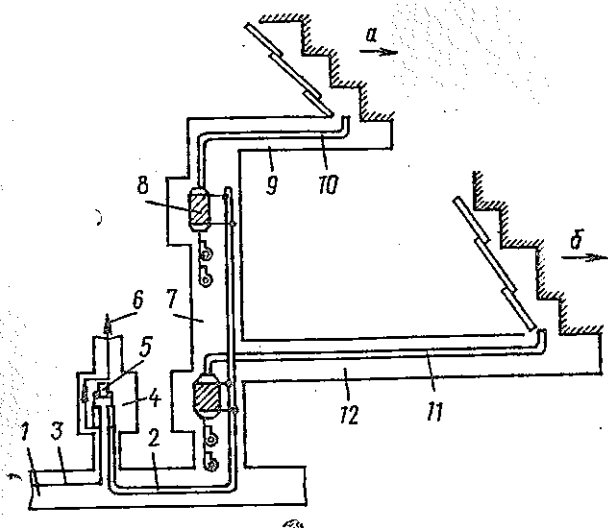


Рис. 2.3. Схема установки участковой парокомпрессионной холодильной машины при разработке свиты, состоящей из двух крутых пластов (а, б):

1 — групповой откаточный штрек; 2 — трубы с охлажденным раствором; 3 — подвод охлажденной конденсаторной воды; 4 — камера для размещения оборудования цикла хладагента; 5 — компрессор; 6 — отвод нагретой конденсаторной воды; 7 — промежуточный квершлаг; 8 — воздухоохладитель пласта а; 9 и 10 — откаточные штреки пластов соответственно; 11 и 12 — трубопроводы с охлажденным воздухом на пластах а и б соответственно

До пуска установки минимальная температура в лавах составила $24,1^{\circ}\text{C}$, максимальная — $26,9^{\circ}\text{C}$, после пуска, соответственно, — $19,9^{\circ}\text{C}$ и $23,5^{\circ}\text{C}$. Температура была снижена на 3°C в промежуточном квершляге и участковых штреках, на $6-7^{\circ}\text{C}$ — в нижних и на $2-2,5^{\circ}\text{C}$ — в верхних кутках лав. Температура кипения фреона — $4-5^{\circ}\text{C}$, холодоносителя — $5-16^{\circ}\text{C}$ и в воздухопроводе — $8-17^{\circ}\text{C}$. Влажность воздуха уменьшилась приблизительно на 4% за счет конденсации воды на трубопроводах. Себестоимость 1 т угля по статье «кондиционирование» составила 0,31 руб., кпд установки — 0,72.

Местные кондиционеры являются воздухоохладителями, подающими охлажденный воздух в лаву с помощью установленных на них вентиляторов. Они легки (60—150 кг) и достаточно производительны (10—30 тыс. ккал/ч). В лаве может быть установлено несколько кондиционеров, причем они легко подвешиваются к крепи.

В карьерах проводится борьба с туманами. При появлении внутренних туманов в пределах объема карьера эффективным способом борьбы является тонкое распыление веществ, способствующих развитию ядер кристаллизации влаги. Применяется также подогрев воздуха для уменьшения влажности и поднятия температуры выше точки росы. Проведение указанных мероприятий возможно на наветренной стороне карьеров при подходе внешних туманов.

3. РУДНИЧНАЯ АЭРОДИНАМИКА

Рудничная аэродинамика — наука о движении газообразной среды и ее силовое взаимодействие с движущимися или неподвижными частицами, находящимися в потоке. Является частью аэромеханики, в которую также входит аэростатика — наука, изучающая условия равновесия воздуха.

Абсолютное (аэростатическое) давление неподвижного воздуха на некоторую площадь

$$P = (P_0 + \gamma H) \cdot H, \quad (3.1)$$

где P_0 — атмосферное (барометрическое) давление, кПа;

H — высота столба воздуха, например, в стволе, м.

Давление на единицу площади

$$P = P_0 + \gamma H, \text{ МПа.} \quad (3.2)$$

И, наконец, удельное давление

$$P = \gamma H, \text{ МПа.} \quad (3.3)$$

Если H представить как разницу отметок горной выработки, то можно отметить, что аэростатическое давление не зависит от сечений выработки.

С глубиной давление увеличивается приблизительно на 1—1,3 кПа на каждые 100 м. Разность давлений, как правило, замеряется в даПа и гПа (дека- и гектопаскалях) в связи с невысоким значением. Тогда

$$P \text{ кг/м}^2 = P \text{ 9,8 МПа} = P \text{ мм вод. ст., } P \text{ даПа,}$$

$$\text{или } P = \left(P_0 + \frac{H}{13,6} \right) \text{ мм рт. ст.}$$

$$\text{и } P = (13,6 P_0 + \gamma H) \text{ мм вод. ст.}$$

Разница между атмосферным давлением и давлением, создаваемым всасывающим вентилятором, называется депрессией (h). В общем виде депрессией называется разница давле-

ний воздуха в начальном и конечном сечениях выработки, которая вызывает перемещение струи.

Компрессией называется разница между атмосферным давлением и давлением нагнетательного вентилятора.

Динамическим (скоростным) давлением, или скоростным напором, называется давление, оказываемое движущимся воздухом на неподвижное тело или давление, испытываемое передней частью движущегося тела в неподвижном воздухе ($h_{ск}$).

3.1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

3.1.1. Уравнение неразрывности струи

Подчинение движения воздуха по горным выработкам законам аэродинамики основывается на неразрывности воздушной среды. При отсутствии утечек в выработке масса воздуха, проходящего в 1 с через различные сечения, удаленные друг от друга на бесконечно малое расстояние, постоянна, т. е.

$$m_1 = m_2 = m_3 = \dots \text{const.} \quad (3.4)$$

Так как $m = \frac{G}{g}$, а $G = VS\gamma$, то уравнение неразрывности

$$G_1 = G_2 = G_3,$$

или

$$V_1 S_1 \gamma_1 = V_2 S_2 \gamma_2 = V_3 S_3 \gamma_3. \quad (3.5)$$

Вес воздуха, протекающего в единицу времени через различные сечения, постоянен. Учитывая, что

$$VS = Q, \quad (3.6)$$

где Q — объемный расход или количество воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$, получаем

$$Q_1 \gamma_1 = Q_2 \gamma_2. \quad (3.7)$$

При равенстве плотностей воздуха $Q_1 = Q_2$ и

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1}, \quad (3.8)$$

т. е. скорости воздуха в различных сечениях выработки (при $\gamma = \text{const}$) обратно пропорциональны сечениям.

Еще один важный вывод следует из уравнения (3.7):

$$Q_2 = Q_1 \frac{\gamma_1}{\gamma_2}. \quad (3.9)$$

Количество воздуха в конечном сечении равно количеству воздуха в начальном сечении с поправкой на разность плотностей воздуха.

Как правило, в шахте $Q_1 \neq Q_2$, например, поступает 100 м³/с, а выходит 90 м³/с. Поправка на γ_1/γ_2 равна 0,8—0,9.

Основными причинами, вызывающими движение воздуха, являются условия: $P_1 > P_2$, $\gamma_1 H_1 > \gamma_2 H_2$ и $h_{ск} > h_{ск}'$.

3.1.2. Приложение уравнения Бернулли к движению воздуха по выработкам

Уравнение Бернулли является выражением закона сохранения энергии для движения идеальных и реальных мало-сжимаемых жидкостей и газов по трубопроводу.

Приложение уравнения Бернулли допустимо и к движению воздуха по выработкам, так как практически на существующих глубинах разработки изменение давления воздуха из-за сжатия его невелико и составляет 3—4% от атмосферного давления. Как было показано выше, отклонение плотности воздуха от нормального составляет в шахте не более 6—8%. Следовательно, условно можно считать, что воздух в шахте не сжимается и не расширяется.

Тогда для движения воздуха по выработкам, как показано на рис. 3.1, уравнение Бернулли имеет вид:

$$P_1 + H_0 \gamma_0 + H_1 \gamma_1 + \frac{V_1^2}{2g} \gamma_1 = P_2 + H_2 \gamma_2 + \frac{V_2^2}{2g} \gamma_2 + h_{ш}, \quad (3.10)$$

где P_1 и P_2 — статическое давление воздуха в начальном (a) и конечном (e) сечениях выработок шахты; тогда $P_1 - P_2 = h_b$ — депрессия, создаваемая вентилятором, кг/м²;

$(H_0 + H_1)$, H_1 и H_2 — высоты сечений над плоскостью сравнения (горизонтом разработки);

$H_0 \gamma_0$, $H_1 \gamma_1$ и $H_2 \gamma_2$ — аэростатическое давление столбов *ab*, *bc* на единицу площади основания, $H_0 \gamma_0 + H_1 \gamma_1 - H_2 \gamma_2 = h_e$ — депрессия, создаваемая разностью столбов (естественная тяга), кг/м²;

$\frac{V_1^2}{2g} \gamma_1$ и $\frac{V_2^2}{2g} \gamma_2$ — скоростное давление воздуха в начальном и конечном сечениях выработок шахты, создаваемое ветром;

$\frac{V_1^2}{2g} \gamma_1 - \frac{V_2^2}{2g} \gamma_2 = \Delta h_{ск}$ — скоростной напор, кг/м²;

$h_{ш}$ — депрессия шахты, кг/м².

Разделив и умножив каждый член уравнения (3.10) на 1 м, получим кг·м/м³, т. е. работу 1 м³ воздуха при его движении, или энергию.

Из уравнения Бернулли следует, что сумма энергии 1 м³ движущегося воздуха в начальном сечении равна сумме энергии в конечном, за исключением энергии, идущей на преодоление сопротивления выработок шахты. При этом один вид энергии переходит в другой (например, в тепло), а давление в целом уменьшается и растут потери энергии на преодоление сопротивления шахты.

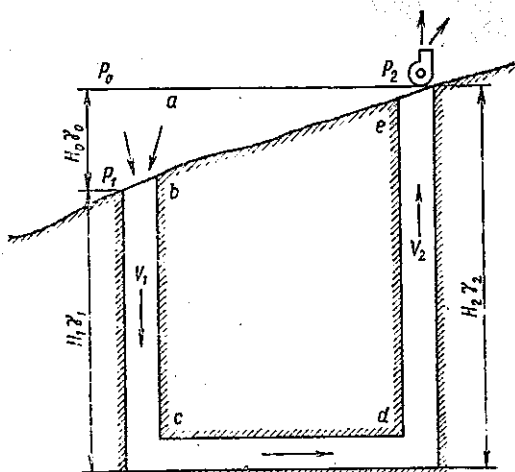


Рис. 3.1. Расчетная условная схема выработок шахты к приложению уравнения Бернулли к движению воздуха

Тогда депрессия шахты

$$h_{\text{ш}} = (P_1 - P_2) + (H_0\gamma_0 + H_1\gamma_1 - H_2\gamma_2) + \left(\frac{V_1^2}{2g} \gamma_1 - \frac{V_2^2}{2g} \gamma_2 \right). \quad (3.11)$$

Формула (3.11) подтверждает, что депрессия шахты складывается из разностей статического, аэростатического и скоростного давлений, являющихся основными причинами движения воздуха, или депрессии.

Уравнение можно переписать:

$$h_{\text{ш}} = h_b \pm h_e \pm \Delta_{\text{ск}}. \quad (3.12)$$

Знаки « $\pm$ » появились в формуле (3.12) в связи с возможностью изменения сравнительных величин γ_1 и γ_2 , V_1 и V_2 в каждой выработке, если будут меняться температура и направление движения воздуха.

Из уравнения Бернулли следуют выводы.

1. При $P_1 > P_2$ и $P_1 = P_0$ (барометрическое давление), а также $V_1 = V_2$ и $\gamma_1 = \gamma_2$ (здесь и ниже $\gamma_0 = \gamma_1$), $h_{ш} = P_0 - P_2$, т. е. имеет место проветривание шахты с помощью всасывающего вентилятора, так как полученная разница должна быть положительная.

2. При $P_1 > P_2$, $P_2 = P_0$, $V_1 = V_2$ и $\gamma_1 = \gamma_2$ $h_{ш} = P_1 - P_0$ — проветривание шахты с помощью нагнетательного вентилятора.

3. При $P_1 = P_2$, $\gamma_1 \neq \gamma_2$, $V_1 = V_2$ $h_{ш} = h_e$ — проветривание шахты за счет естественной тяги.

4. При $P_1 = P_2$, $\gamma_1 = \gamma_2$ и $V_1 \neq V_2$ $h_{ш} = \Delta h_{ск}$ — проветривание шахты за счет напора ветра.

5. При $P_1 > P_2$, $\gamma_1 > \gamma_2$ и $V_1 = V_2$ $h_{ш} = h_b + h_e$, т. е. естественная тяга помогает работе вентилятора, при $\gamma_1 < \gamma_2$ $h_{ш} = h_b - h_e$ — препятствует работе вентилятора.

6. При $P_1 > P_2$, $\gamma_1 = \gamma_2$ и $V_1 \neq V_2$

$$h_{ш} = P_1 - P_2 \pm \Delta h_{ск}. \quad (3.13)$$

Для отдельной выработки, если $\Delta h_{ск} = 0$ $h_{выр} = P_1 - P_2$ и $P_2 = P_1 - h_{выр}$.

Если $\Delta h_{ск} > 0$, т. е. $V_1 > V_2$ и значит $S_1 < S_2$, то имеем при расширении выработки увеличение давления,

$$h_{выр} = P_1 - P_2 + \Delta h_{ск} \text{ и } P_2 = P_1 - h_{выр} + \Delta h_{ск}. \quad (3.14)$$

При сужении выработки и $V_2 > V_1$ давление P_2 падает,

$$P_2 = P_1 - h_{выр} - \Delta h_{ск}. \quad (3.15)$$

В доказательство этого теоретического вывода проводится обратный эксперимент, называемый гидродинамическим эффектом (рис. 3.2). Если трубу 1, имеющую гибкую вставку 2, закрыть герметичным кожухом 4 и в кожухе значительно повысить давление воздуха, то гибкая вставка, расширившись, займет новое положение, увеличив здесь сечение для проходящей в трубе жидкости.

Таким образом, находит подтверждение закон Бернулли о сохранении энергии давления. Увеличение скорости движения воздуха вызывает уменьшение его давления, а всякое уменьшение скорости — увеличение давления воздуха.

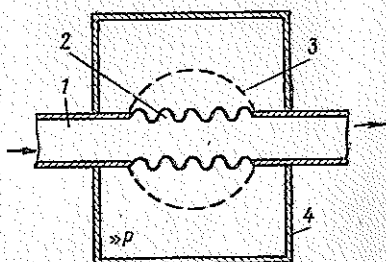


Рис. 3.2. Схема установки для демонстрации гидродинамического эффекта:

1 — трубопровод с жидкостью; 2 — гибкая вставка в трубе; 3 — положение гибкой вставки после увеличения давления внутри корпуса; 4 — кожух

7. При $P_1 > P_2$, $\gamma_1 \neq \gamma_2$ и $V_1 = 0$

$$h_{ш} = h_b \pm h_c - \frac{V_2^2}{2g} \gamma_2 \quad (3.16)$$

или
$$h_{ш} + h_{ск} = h_b \pm h_c, \quad (3.17)$$

где $h_{ск}$ — скоростной напор на выходе вентиляционной струи.

Из формулы (3.17) видно, что при высоких скоростях воздуха на выходе (V_2) бесполезный напор ($h_{ск}$) может даже превысить полезный напор ($h_{ш}$).

8. При $P_1 > P_2$, $\gamma_1 = \gamma_2$ и $V_1 = 0$ (или $V_2 = 0$), т. е. при подсоединении депрессиометра к каналу вентилятора.

Тогда при всасывающем вентиляторе

$$h_{ш} = h_b - h_{ск}. \quad (3.18)$$

При нагнетательном вентиляторе

$$h_{ш} = h_b + h_{ск}, \quad (3.19)$$

что аналогично формуле (3.13).

3.1.3. Типы и режимы воздушных потоков

В горных выработках могут быть воздушные потоки с твердыми границами (движение воздуха в стволах, квершлагах, штреках и т. д., рис. 3.3) и свободные струи (движение воздуха в камерах, уширениях выработок, карьерах и др.). Последние подразделяются на полные (рис. 3.4) и неполные воздушные потоки (рис. 3.5).

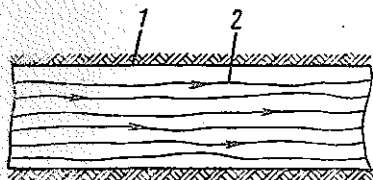


Рис. 3.3. Движение струи по воздуховоду с твердыми границами:

1 — воздуховод (труба или выработка);
2 — отдельные струйки воздуха

Режимы движения воздуха по выработкам делятся на ламинарный (слоистый), турбулентный (вихревой) и промежуточный. Ламинарный и турбулентный режимы в зависимости от скорости воздуха могут переходить один в другой. Они устойчивы только при значениях R_e (безразмерное число Рейнольдса) согласно табл. 3.1.

Основной режим движения воздуха в шахте и карьере — турбулентный. При нем происходит постоянное перемещение струй между собой (рис. 3.6). Движение воздуха характеризуется величиной средней скорости воздуха как части от максимальной скорости

$$V_{ср} = (0,8-0,9) V_{max}.$$

Режим	Воздуховод	
	гладкий трубопровод	выработка
Ламинарный	Меньше 2300	Меньше 1000—1500
Турбулентный	Больше 80 000— 100 000	Больше 2 300
Промежуточный	2300—80 000	Больше 1500—2300

Ламинарное движение — спокойное движение отдельными параллельными струйками без перемешивания, характеризующееся величиной $V_{ср} = 0,5 V_{max}$. Наблюдается при слабом движении воздуха через закладку, перемычки и т. д.

Для трубопроводов круглого сечения

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \quad (3.20)$$

где d — диаметр трубопровода, м;

ν — коэффициент кинематической вязкости, m^2/c .

Для выработок и трубопроводов иного сечения

$$Re = \frac{VD}{\nu}, \quad (3.21)$$

где D — эквивалентный диаметр; $D = \frac{4S}{P}$

(P — периметр воздуховода).

Два потока подобны при постоянстве масштаба струй

$$\frac{L_m}{L_n} = \text{const} \quad (3.22)$$

и равенстве чисел Рейнольдса $\frac{V_m d_m}{\nu_m} = \frac{V_n d_n}{\nu_n}$.

Так как $\nu_m = \nu_n$,

$$\frac{V_m}{V_n} = \frac{d_n}{d_m}, \quad (3.23)$$

или

$$\frac{V_m}{V_n} = \frac{L_n}{L_m}, \quad (3.24)$$

т. е. скорости должны быть обратно пропорциональны линейным размерам натуре и модели.

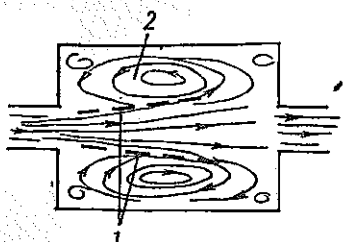


Рис. 3.4. Движение струи воздуха по сквозной камере с созданием полной свободной струи:

1 — условные границы свободной струи; 2 — завихрения воздуха

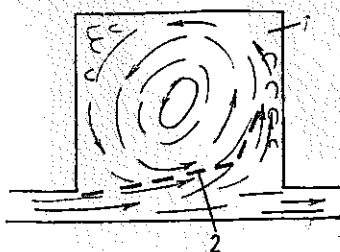
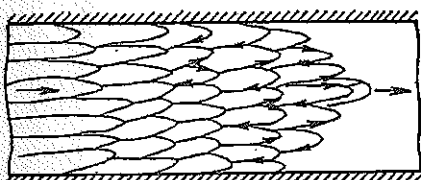
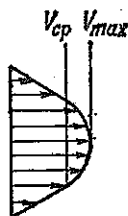


Рис. 3.5. Движение струи воздуха в камере типа ниши с образованием неполной свободной струи:

1 — ниша; 2 — граница неполной свободной струи



а



б

Рис. 3.6. Схема, поясняющая турбулентное движение воздуха:

а — схема струй; б — эпюра скоростей

При соблюдении указанных условий становится возможным изучение в лабораторных условиях основных параметров вентиляционных струй, двигающихся по выработкам. Лабораторные исследования являются одними из основных в вентиляции.

3.1.4. Закон аэродинамического сопротивления

Выбор вентиляторов для проветривания производится на основе Q и h , а также размеров выработок и крепи, определяющих их сопротивление воздушному потоку.

Закон аэродинамического сопротивления в общем виде выражает зависимость между скоростью движения воздуха в выработке V , сопротивлением выработки R и депрессией h , которую необходимо затратить на преодоление этого сопротивления:

$$h = RV^x, \quad (3.25)$$

где x — показатель степени, зависящий от режима движения; при турбулентном движении $x=2$, ламинарном — $x=1$.

Различают три вида аэродинамического сопротивления: трение о стенки выработки, лобовое и местное.

Сопротивление трения о стенки выработок. Потери давления воздуха (или депрессии) при преодолении этого сопротивления зависят главным образом от шероховатости боков горных выработок.

В гидравлике потери давления на преодоление сопротивления трения жидкости о стенки трубопровода находятся по формуле Дарси—Вейсбаха

$$h = \lambda \frac{1}{2g} \frac{L}{D} V^2, \quad (3.26)$$

где λ — безразмерный коэффициент трения жидкости о стенки трубопровода;

L — длина трубопровода;

D — эквивалентный диаметр трубопровода.

Далее принимаем

$$\alpha = \varepsilon \frac{\gamma}{2g}, \quad (3.27)$$

где α — коэффициент аэродинамического сопротивления;

ε — коэффициент, учитывающий влияние шероховатости стен выработок.

Тогда, учитывая $V = Q/S$ (при $\gamma = \text{const}$), получим для воздуха

$$h = \alpha \frac{PL}{S^3} Q^2. \quad (3.28)$$

При выводе формулы депрессии был использован метод размерностей.

Тогда

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{4}. \quad (3.29)$$

Заменяя в формуле (3.28)

$$\alpha \frac{PL}{S^3} = R, \quad (3.30)$$

где R — сопротивление трения воздуха, или аэродинамическое сопротивление, получаем другое выражение депрессии

$$h = RQ_2. \quad (3.31)$$

Коэффициент α является размерным ($\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$), определяется в натуральных или лабораторных условиях на моделях, меняется в широких пределах — от 0,0006 (горизонтальная выработка без крепи) до 0,03 (очистной забой, лава, закрепленная деревом) и более.

Аэродинамическое сопротивление R ($\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^3$) характеризует степень трудности проветривания шахты или отдельной выработки. Выработки могут иметь одинаковый коэффициент α , но разную трудность проветривания. Чем больше S , тем легче проветривание выработки.

Сопротивление R выражается в киломюргах (к μ) и мюргах (μ). Сопротивлением в 1 к μ обладает выработка, по которой при депрессии 1 даПа проходит 1 м³ воздуха. Один μ является тысячной долей к μ . В ГДР принимают те же единицы сопротивления, но называют их вейсбах (ω) и милливейсбах ($\mu\omega$). В Англии единица сопротивления называется аткинсон (atk), имеется практическая единица (п. е.).

$$1 \text{ к}\mu = 164 \text{ atk} = 8,75 \text{ п. е.},$$

или

$$1 \text{ atk} = 0,053 \text{ п. е.} = 0,0061 \text{ к}\mu.$$

Для наглядности и исключения ошибок при расчетах сопротивления часто используют γ — число малых единиц аэродинамического сопротивления, которое в тысячу раз больше R

$$\gamma = 1000 R. \quad (3.32)$$

Лобовое сопротивление — общее сопротивление тела потоку обтекаемого воздуха. К телам относятся расстрелы в стволах, крепь в очистных забоях, вагонетки в выработках и др. Лобовое сопротивление складывается из сопротивления трения воздуха о тело и сопротивления формы, являющегося результатом срыва потока и образования больших вихрей за телом (рис. 3.7).

Давление воздуха P на неподвижное тело любой формы пропорционально скоростному давлению $\frac{V^2}{2g}$, коэффициенту лобового сопротивления $\alpha_{\text{л.с}}$ и миделеву сечению, наибольшему по площади сечению тела в плоскости, перпендикулярной воздушному потоку $S_{\text{мид}}$ (рис. 3.8, сечение I—I).

Отсюда

$$P = \alpha_{\text{л.с}} \frac{V^2}{2g} \gamma S_{\text{мид}} H. \quad (3.33)$$

Поделим обе части уравнения на $S - S_{\text{мид}}$:

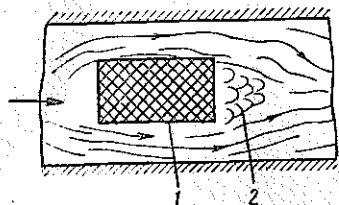


Рис. 3.7. Образование завихрений воздуха за телом при лобовом сопротивлении движению струи:

1 — тело; 2 — завихрения с задней стороны тела

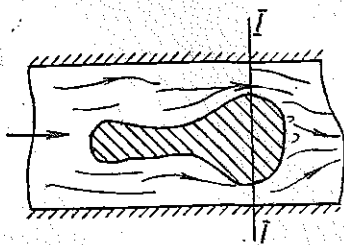


Рис. 3.8. Миделево сечение (I—I) тела в плоскости, перпендикулярной потоку

$$\frac{P}{S - S_{\text{мид}}} = \alpha_{\text{л.с}} \frac{V^2}{2g} \gamma \frac{S_{\text{мид}}}{S - S_{\text{мид}}}, \quad (3.34)$$

где $\frac{P}{S - S_{\text{мид}}} = h_{\text{л.с}}$ — потеря давления воздуха при обтекании тела.

Тогда

$$h_{\text{л.с}} = \alpha_{\text{л.с}} \frac{V^2}{2g} \gamma \frac{S_{\text{мид}}}{S - S_{\text{мид}}}. \quad (3.35)$$

Так как $R_{\text{л.с}} = h_{\text{л.с}}/Q^2$ и $Q = V(S - S_{\text{мид}})$, то лобовое сопротивление

$$R_{\text{л.с}} = 0,061 \alpha_{\text{л.с}} \frac{S_{\text{мид}}}{(S - S_{\text{мид}})^3}. \quad (3.36)$$

Лобовое сопротивление тем больше, чем меньше сечение выработки и больше миделево сечение тела.

Местное сопротивление — сопротивление, вызывающее потерю депрессии при прохождении воздушным потоком поворотов, сужений, расширений выработок и т. д. Оно не зависит от размеров воздухопровода. В общем виде потеря напора

$$h_{\text{м.с}} = \alpha_{\text{м.с}} \frac{V^2}{2g} \gamma \quad (3.37)$$

$$\text{и} \quad R_{\text{м.с}} = 0,061 \frac{\alpha_{\text{м.с}}}{S^2}, \quad (3.38)$$

где $\alpha_{\text{м.с}}$ — безразмерный коэффициент местного сопротивления, определяемый опытным путем как отношение к α выработки.

Сопротивление поворота зависит от его угла, поперечного сечения и шероховатости воздухопровода. При входе в поворот воздушный поток изменяет форму, сужаясь и расширяясь при выходе (рис. 3.9). Перемещение потока вызывает дополнительные сопротивления в виде завихрений 1. Для поворота, например, под углом 90°.

$$\alpha_{м.с} = (0,93 + 280 \alpha) \frac{b}{a}, \quad (3.39)$$

где b — ширина выработки и a — ее высота.

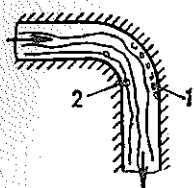


Рис. 3.9. Местное сопротивление потоку воздуха при повороте струи:

1 — завихрения воздуха на внешней стороне поворота; 2 — завихрения воздуха на внутренней стороне

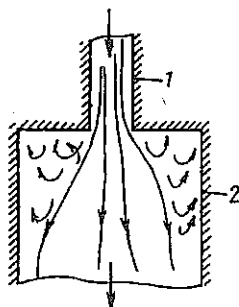


Рис. 3.10. Местное сопротивление потоку воздуха при внезапном расширении струи:

1 — узкая выработка; 2 — более широкая выработка

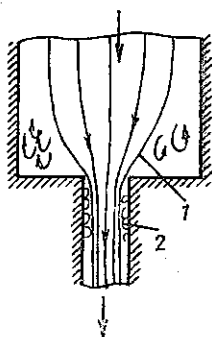


Рис. 3.11. Местное сопротивление потоку воздуха при внезапном сужении струи:

1 — сжатие струи и завихрения перед входом в узкую выработку; 2 — завихрения в узкой выработке

В целях снижения местного сопротивления в повороте (например, в канале вентилятора) могут быть установлены направляющие лопатки, разбивающие поток на отдельные струйки. Наивыгоднейшее число лопаток составляет $0,25 b/r$, где r — радиус скругления поворота.

Расширения и сужения струи встречаются при переходе из узкой выработки в камеру и наоборот. Местное сопротивление в виде внезапного расширения создается в результате мгновенного перехода воздушного потока с большей скоростью в узком месте в широкое место с меньшей скоростью $V_1 > V_2$ (рис. 3.10).

В гидравлике — это потеря напора на удар. Потеря напора на удар или внезапное расширение равны

$$h_{в.р} = K(V_1 - V_2)^2 \frac{\gamma}{2g}, \quad (3.39)$$

где K — коэффициент смягчения удара, равный 0,15.

Внезапное сужение воздушного потока (рис. 3.11) оказывает местное сопротивление в результате сжатия струи и образования завихрений.

На рис. 3.12 показана сравнительная величина $\alpha_{м.с}$ при различных сложных поворотах. Видно, что большую роль в уменьшении сопротивления играет сглаживание углов.

Сумма местных сопротивлений в угольных и рудных шахтах играет небольшую роль, за исключением случаев применения камерной и камерно-столбовой систем разработки, а также при наличии сложных каналов вентиляторов, кроссингов, поворотов с большим количеством воздуха и др.

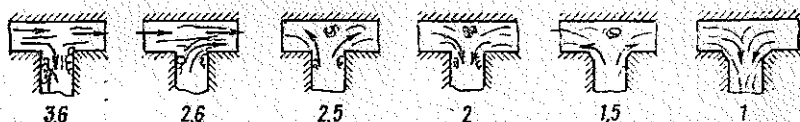


Рис. 3.12. Относительная величина уменьшения сопротивлений сложных поворотов струи в зависимости от направления движения воздуха и конструкции сопряжений выработок

Потери напора на местные сопротивления могут быть рассчитаны или приняты без больших погрешностей. При проектировании потери депрессии на местные сопротивления принимают в размере 15—20% от потерь на трение о стенки выработок.

Для снижения величины сопротивлений и улучшения проветривания шахт в штрекообразных выработках применяют сплошную затяжку боков, в стволах — обтекаемые расстрелы, в прочих выработках — скругление и скашивание углов, а также плавные переходы от одного сечения к другому, уменьшают длину вентиляционных каналов, скорость прохождения воздуха до 4—5 м/с и трение о стыки труб.

3.2. ХАРАКТЕРИСТИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК И ШАХТ

3.2.1. Сопротивление шахты

Вентиляционной характеристикой шахты (или выработки) является графическое изображение уравнения $h=RQ^2$, представляющее собой параболу (рис. 3.13). Она проходит только через начало координат и характерна для всех шахт, кроме шахт с естественной тягой. Чем больше сопротивление шахты (или выработки), тем круче будет идти кривая, характеризующая сопротивление.

Для построения графиков при известном R задаются несколькими произвольными значениями Q и находят h . При неизвестном R возможны: а) измерение h и Q непосредственно в стволе при неоднократном изменении положения шибера; б) нахождение α каждой выработки шахты и семейства R (рис. 3.14).

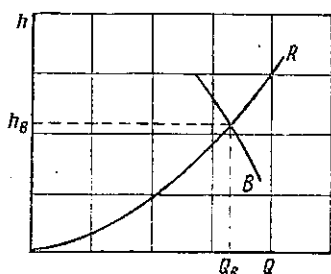


Рис. 3.13. График зависимости депрессии от количества воздуха, проходящего по выработкам шахты (кривая R) и через вентилятор (кривая B)

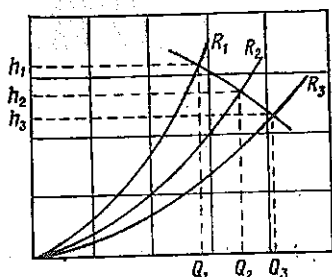


Рис. 3.14. Построение вентиляционных характеристик выработок шахты (R_1 , R_2 , R_3) на основе коэффициента аэродинамического сопротивления и определения потерь напора в них при известной характеристике вентилятора

3.2.2. Сопротивление разветвленной системы выработок

Ряд соединенных между собой горных выработок, имеющих воздушный поток, образует вентиляционную систему: последовательную, параллельную, диагональную, комбинированную и сложную.

Расчет вентиляционных систем сводится к нахождению h , Q и R , определению воздухораспределения при искусственном изменении параметров вентиляционной системы, установлению эффективности источников тяги воздуха и др. При решении возможно применение методов аналитического, графоаналитического, электро- и гидромоделирования и др.

Вентиляционная система последовательно соединенных выработок. Вентиляционная система называется последовательной, если движение воздуха по выработкам происходит без разделения струи (рис. 3.15). При последовательном соединении дебит отдельных выработок одинаков: $SV = \text{const}$ и $Q_1 = Q_2 = Q$.

Вентиляционная струя, проходя по выработкам, последовательно в каждой из них теряет часть напора на преодоление

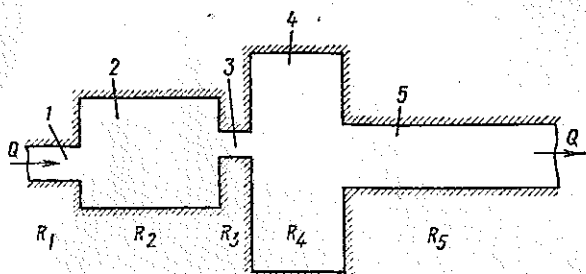


Рис. 3.15. Последовательная вентиляционная система
выработок без разделения струи:
1-5 — выработки с различным сопротивлением

сопротивления. Поэтому общая депрессия последовательно соединенных выработок равна сумме депрессий отдельных выработок

$$h = h_1 + h_2 + \dots + h_n. \quad (3.40)$$

Так как $h = RQ^2$, $RQ^2 = R_1Q_1^2 + R_2Q_2^2 + \dots + R_nQ_n^2$

и

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (3.41)$$

Общее сопротивление последовательно соединенных выработок равно сумме сопротивлений отдельных выработок.

Вентиляционная система параллельно соединенных выработок. Вентиляционная система, при которой движение воздуха происходит по нескольким разветвленным выработкам, имеющим два концевых соединения, называется параллельной. Различают две разновидности параллельной системы соединений: закрытое (простое и сложное) и открытое (рис. 3.16).

На рис. 3.16 справа от схем выработок шахты даны условные обозначения вентиляционных струй в системах, обычно используемых при вентиляционных расчетах.

Депрессия параллельных соединений. Обозначим на схеме (рис. 3.17) давление вентиляционной струи в начале и конце параллельного соединения через P_1 и P_2 , а депрессию ветвей — h_1 и h_2 , тогда

$$h_1 = P_1 - P_2, \quad h_2 = P_1 - P_2$$

и

$$h_1 = h_2. \quad (3.42)$$

Отсюда следует важный вывод, характеризующий параллельное соединение: депрессии параллельных струй равны между собой.

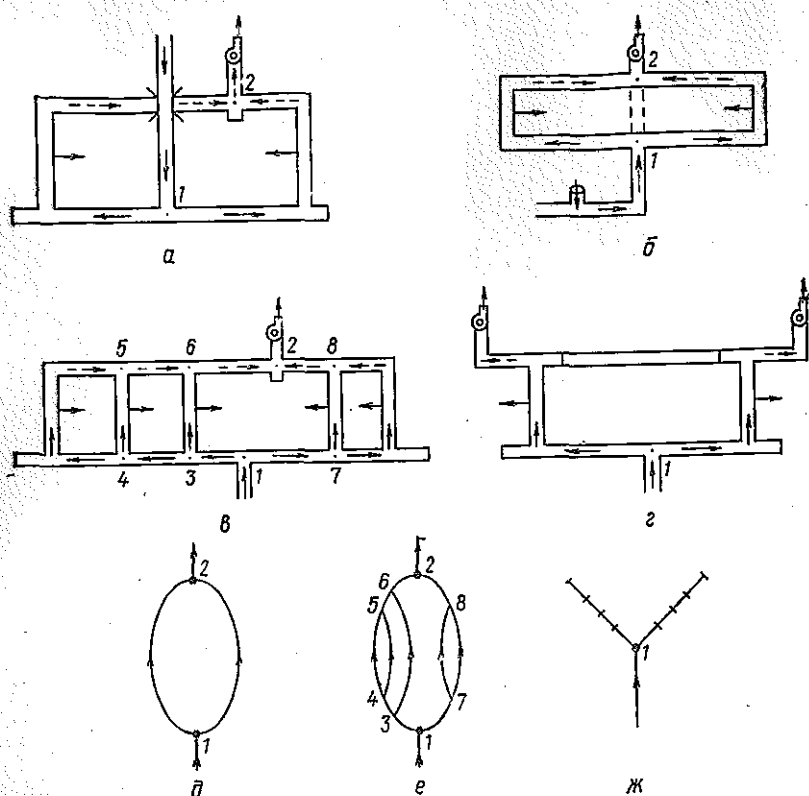


Рис. 3.16. Параллельная вентиляционная система выработок:

а — простое закрытое параллельное соединение в виде шахты с наклонным стволом; *б* — простое закрытое параллельное соединение в виде верхнего яруса панелей; *в* — закрытое сложное соединение в виде отработки этажа с делением на отдельные выемочные поля; *г* — открытое параллельное соединение в виде шахты с фланговой схемой вскрытия; *д* — вентиляционные струи при простом закрытом соединении; *е* — вентиляционные струи при сложном закрытом соединении; *ж* — вентиляционные струи при открытом параллельном соединении; 1—8 — места разветвления струй

Распределение воздуха в параллельном соединении. Общее количество воздуха

$$Q = q_1 + q_2; \quad (3.43)$$

так как

$$h_1 = h_2, R_1 q_1^2 = R_2 q_2^2, \text{ то } q_2 = q_1 \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}. \quad (3.44)$$

Подставляя значение q_2 в (3.43), получаем

$$Q = q_1 + q_1 \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \text{ и } Q = q_2 + q_2 \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}.$$

Отсюда

$$q_1 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}} \quad (3.45)$$

и

$$q_2 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}}. \quad (3.46)$$

Для параллельного соединения с большим количеством ветвей q будет равно

$$q_1 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} + \sqrt{\frac{R_1}{R_3}} + \dots + \sqrt{\frac{R_1}{R_n}}}. \quad (3.47)$$

Если в одной из ветвей параллельного соединения установлен вентилятор, нарушающий равенство депрессий, то при распределении воздуха сопротивление этой ветви умножается на отношение депрессий параллельного соединения и ветви. Например, в параллельном соединении 1—2 (см. рис. 3.17) вентилятор установлен в ветви 1, $R_1 = R_2 = 1$ кз, отношение депрессий $h_1/h_2 = 0,8$ и общий дебит $Q = 40$ м³/с. Тогда распределение воздуха

$$q_1 = \frac{40}{1 + \sqrt{\frac{1 \cdot 0,8}{1}}} = 21,1 \text{ м}^3/\text{с}$$

и

$$q_2 = 40 - 21,1 = 18,9 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общее сопротивление параллельного соединения. Общим сопротивлением разветвленной системы выработок называется такая совокупная величина, которая позволяет при расчетах заменить сопротивление всех выработок. Поскольку депрессии параллельных струй $h_1 = h_2 = \dots = h_n$, можно условно заменить все соединение одной струей с $h = P_1 - P_2$, тогда $h = h_1 = h_2 = \dots = h$ и $RQ^2 = R_1 q_1^2$.

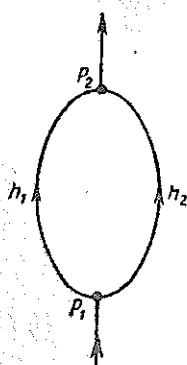


Рис. 3.17. Расчетная схема струй при простом закрытом параллельном соединении

Откуда

$$R = \frac{R_1 q_1^2}{Q^2} \quad (3.48)$$

Воспользовавшись найденными выше значениями q_1 и q_2 , получим

$$R = \frac{R_1}{1 + \sqrt{\frac{n}{n}}} \quad (3.49)$$

и

$$R = \frac{R_2}{1 + \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}} \quad (3.50)$$

Из полученных уравнений видно, что общее сопротивление параллельного соединения R всегда меньше сопротивления каждой выработки системы.

При $R_1 = R_2$

$$R = \frac{R_1}{(1+1)^2} = 0,25 R_1 \quad (3.51)$$

В общем виде

$$R = \frac{R_n}{n^2} \quad (3.52)$$

где n — число ветвей параллельного соединения.

Разветвление вентиляционной струи на две и более экономически выгодно, так как в этом случае сопротивление сети уменьшается, а дебит вентилятора растет. В практике часто пользуются этим свойством параллельного соединения.

Применяя формулу (3.52), можно определить общее сопротивление перемычки, если известно сопротивление одной ее параллельной части, составляющей проход для просасываемого воздуха, или решить обратную задачу.

Пример. Согласно схемам, показанным на рис. 3.18, необходимо определить в открытом параллельном соединении величину сопротивления канала вентилятора R_k , если известно количество воздуха, поступающее к вентилятору из подземных выработок шахты Q_m и подсасываемое с поверхности через перемычку (Q_n , в $p\%$ утечек от Q_m).

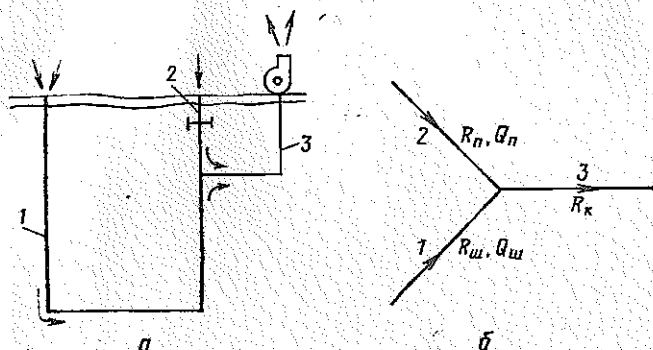


Рис. 3.18. К определению сопротивления канала вентилятора в открытом параллельном соединении:

а — схема выработок шахты; *б* — схема струй; 1 — выработки шахты; 2 — выработки устья вентиляционного ствола; 3 — канал вентилятора

Решение. Находим сопротивление перемычки из условия $h_n = h_{ш}$,

$$R_n Q_n^2 = R_{ш} Q_{ш}^2$$

и

$$R_n = R_{ш} \left(\frac{100}{p} \right)^2.$$

Сопротивление канала

$$R_k = \frac{R_{ш}}{\left(1 + \sqrt{\frac{R_{ш}}{R_{ш} \left(\frac{100}{p} \right)^2}} \right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100} \right)^2} \cdot R_{ш}.$$

Множитель $1/(1+p/100)^2$ часто выражают через K — коэффициент подсоса, составляющий определенную величину при различном проценте ($p\%$) подсоса воздуха через перемычку с дверью.

Вентиляционная система диагонально соединенных выработок — вентиляционная система, при которой движение воздуха происходит по двум параллельным выработкам, имеющим одну или несколько поперечных связей (рис. 3.19).

Аналитическое решение диагонального соединения сводится к нахождению распределения воздуха, депрессии, общего сопротивления и определению условий движения воздуха по диагональной (поперечной) выработке.

Распределение воздуха в ветвях диагонального соединения. Примем направление движения воздуха в диагонали от D к

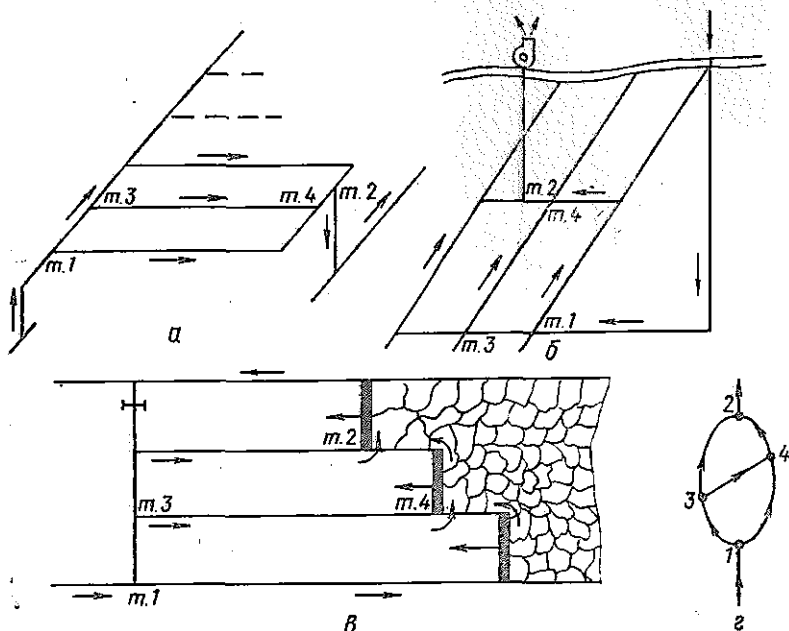


Рис. 3.19. Диагональная вентиляционная система выработок:

а — пример на соединение в виде выработок горизонта грохочения; б — то же в виде шахты с одновременной отработкой трех пластов свиты; в — то же в виде отработки этажа с делением на три подэтажа; г — схема вентиляционной струи при диагональном соединении; 1—4 — точки, обозначающие места соединения отдельных струй диагонального соединения

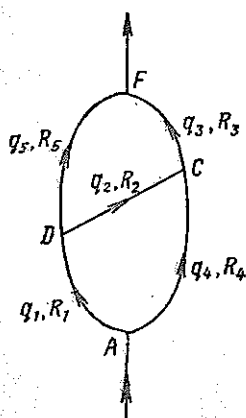


Рис. 3.20. Расчетная схема струй диагонального соединения

С (рис. 3.20). Соединение состоит из параллельных ветвей AC и DF.

Депрессия этих ветвей

$$h_{AC} = h_{AD} + h_{DC} \quad (3.53)$$

и

$$h_{DF} = h_{DC} + h_{CF} \quad (3.54)$$

или

$$R_4 q_4^2 = R_1 q_1^2 + R_2 q_2^2 \quad (3.55)$$

и

$$R_5 q_5^2 = R_2 q_2^2 + R_3 q_3^2 \quad (3.56)$$

Так как $q_1 = q_5 + q_2$ и $q_3 = q_2 + q_4$, то заменив в (3.55) и (3.56) q_1 и q_3 и разделив обе части уравнений на q_2^2 , получим

$$R_4 \left(\frac{q_4}{q_2} \right)^2 = R_1 \left(\frac{q_5^2}{q_2^2} + 2 \frac{q_5}{q_2} + 1 \right) + R_2$$

и

$$R_5 \left(\frac{q_5}{q_2} \right)^2 = R_2 + \left(\frac{q_4^2}{q_2^2} + 2 \frac{q_4}{q_2} + 1 \right) R_3,$$

или

$$R_4 \left(\frac{q_4}{q_2} \right)^2 = R_1 \left(\frac{q_5}{q_2} + 1 \right)^2 + R_2$$

и

$$R_5 \left(\frac{q_5}{q_2} \right)^2 = R_2 + R_3 \left(\frac{q_4}{q_2} + 1 \right)^2. \quad (3.58)$$

Обозначим $q_4/q_2 = x$ и $q_5/q_2 = Y$, тогда

$$R_4 x^2 = R_1 (Y+1)^2 + R_2 \quad (3.59)$$

и

$$R_5 Y^2 = R_2 + R_3 (x+1)^2. \quad (3.60)$$

Уравнения (3.59) и (3.60) представляют собой две гиперболы:

$$\frac{x^2}{\frac{R_2}{R_4}} - \frac{(y+1)^2}{\frac{R_2}{R_1}} = 1; \quad x = \sqrt{\frac{(y+1)^2 + R_2}{R_4}}$$

и

$$\frac{y^2}{\frac{R_2}{R_5}} - \frac{(y+1)^2}{\frac{R_2}{R_3}} = 1; \quad y = \sqrt{\frac{R_2 + R_3(x+1)^2}{R_5}}. \quad (3.61)$$

При движении воздуха в диагонали от С к D уравнения гипербол будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{x^2}{\frac{R_2}{R_1}} - \frac{(y+1)^2}{\frac{R_2}{R_4}} &= 1; & x &= \sqrt{\frac{R_4(y+1)^2 + R_2}{R_1}}; \\ \frac{y^2}{\frac{R_2}{R_3}} - \frac{(x+1)^2}{\frac{R_2}{R_5}} &= 1; & y &= \sqrt{\frac{R_2 + R_5(x+1)^2}{R_3}}. \end{aligned} \quad (3.62)$$

Значения x и y находятся графически в точках пересечения двух кривых.

Общее количество воздуха в диагональном соединении (см. рис. 3.20).

$$\text{или} \quad Q = q_1 + q_4 \quad (3.63)$$

$$Q = q_5 + q_2 + q_4. \quad (3.64)$$

Поделив обе части на q_2 , получим

$$\frac{Q}{q_2} = \frac{q_5}{q_2} + \frac{q_2}{q_2} + \frac{q_4}{q_2} Y + 1 + X. \quad (3.65)$$

Отсюда

$$q_2 = \frac{Q}{X + Y + 1}. \quad (3.66)$$

Так как $q_4 = Xq_2$ и $q_5 = Yq_2$, то

$$q_4 = \frac{XQ}{X + Y + 1} \quad (3.67)$$

и

$$q_5 = \frac{YQ}{X + Y + 1}. \quad (3.68)$$

И, наконец, используя $q_1 = q_5 + q_2$ и $q_3 = q_2 + q_4$, получаем

$$q_1 = \frac{(Y + 1)Q}{X + Y + 1} \quad (3.69)$$

и

$$q_3 = \frac{(X + 1)Q}{X + Y + 1}. \quad (3.70)$$

Депрессия и общее сопротивление диагонального соединения. Диагональное соединение AF , показанное на рис. 3.20, можно представить в виде параллельного, состоящего из трех ветвей ADF , $ADCF$ и ACF . Тогда, согласно закономерностям параллельного соединения,

$$h_{AF} = h_{AD} + h_{DF}, \quad (3.71)$$

или

$$h_{AF} = h_{AD} + h_{DC} + h_{CF}, \quad (3.72)$$

или

$$h_{AF} = h_{AC} + h_{CF}. \quad (3.73)$$

Взяв за основу уравнение (3.71), напишем

$$h_{AF} = h = R_1 q_1^2 + R_5 q_5^2 \quad (3.74)$$

или, заменив q_1 и q_5 , согласно (3.68) и (3.69),

$$h = R_1 \frac{(Y + 1)^2 Q^2}{(X + Y + 1)^2} + R_5 \left(\frac{YQ}{X + Y + 1} \right)^2 \quad (3.75)$$

и

$$h = \frac{R_1(Y+1)^2 + R_5 Y^2}{(X+Y+1)^2} Q = R_{DC} Q^2. \quad (3.76)$$

Для того чтобы оценить величину общего сопротивления диагонального соединения R'_{DC} , примем $q_2=0$, тогда при получившемся параллельном соединении

$$R'_{DC} < R_{ветви}. \quad (3.77)$$

Если диагональ с $q_2 \neq 0$ меняет свое положение, поворачиваясь вокруг центральной оси и приближаясь в пределе к точкам A и F , то сопротивление диагонали растет, а соединение превращается в простое параллельное с несколькими ветвями, где

$$R'_{DC} \ll R_{ветви}. \quad (3.78)$$

Величина общего сопротивления действительного диагонального соединения R_{DC} находится в промежутке между R'_{DC} и R''_{DC} и поэтому будет всегда меньше сопротивления отдельной ветви соединения. В отношении общего сопротивления диагональное соединение, как и параллельное, является практически выгодным.

Условия движения воздуха по диагонали. При отсутствии движения воздуха по диагонали давление воздуха в точках D и C будет равно и, следовательно, будут равны депрессии ветвей, имеющих одинаковое давление и в других концевых точках,

$$h_{AD} = h_{AC}$$

и

$$h_{DF} = h_{CF}$$

или

$$R_1 q_1^2 = R_4 q_4^2 \quad (3.79)$$

и

$$R_5 q_5^2 = R_3 q_3^2. \quad (3.80)$$

При $q_2=0$ $q_1=q_5$ и $q_4=q_3$. Тогда, поделив (3.79) на (3.80) и сократив q , получим

$$\frac{R_1}{R_5} = \frac{R_4}{R_3}. \quad (3.81)$$

Следовательно, при q_2 диагонали равным нулю, отношения сопротивлений других ветвей равны.

Достаточно изменить сопротивление любой из выработок (не включая диагонали) и в диагонали появится движение воздуха. Таким образом, сопротивление диагонали не влияет на наличие в ней движения воздуха.

Движение воздуха в диагонали от точки D к C будет, если по сравнению с нулевой позицией возрастет сопротивление для струи в ветвях AC (увеличится сопротивление R_4) и DF (увеличится сопротивление R_5), т. е. большая часть воздуха, начиная движение в соединении от точки A , идет к точке F по пути наименьшего сопротивления, а именно: встречая усиленное сопротивление со стороны AC , по AD и далее со стороны DF , по DC и CF . Поскольку в равенстве (3.81) с изменениями R_4 и R_5 растет, соответственно, числитель правой дроби и знаменатель левой, то оно превращается в неравенство

$$\frac{R_1}{R_5} < \frac{R_4}{R_3} . \quad (3.82)$$

Движение от C к D возможно, если возрастут R_1 и R_3 , а равенство (3.81) примет вид неравенства

$$\frac{R_1}{R_5} > \frac{R_4}{R_3} . \quad (3.83)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что воздух по поперечной выработке диагонального соединения всегда движется в сторону с большим соотношением сопротивлений ветвей. Диагональные соединения горных выработок в шахтах кроме схемы, показанной на рис. 3.19, *а*, встречаются также при проветривании свиты пластов (рис. 3.19, *б*), отработке подэтажами с подсвеживанием струи (рис. 3.19, *в*) и т. д.

Указанное выше свойство диагонального соединения, из-за которого в поперечной выработке может произойти самопроизвольное опрокидывание струи или приостановиться движение воздушного потока, делает его в ряде случаев опасным. Например, опрокидывание струи крайне нежелательно при авариях и выводе людей из шахты, а отсутствие движения воздуха в диагонали вызывает снижение в ней давления воздуха и повышение газообильности.

В шахтах следует избегать диагональных соединений выработок. Если этого сделать нельзя, то диагональные соединения должны находиться под постоянным контролем вентиляционного надзора.

Пример. В диагональном соединении (см. рис. 3.20) необходимо определить направление движения воздуха в поперечной выработке и количество воздуха в ветвях при $R_1 = 80$ г, $R_2 = 35$ г, $R_3 = 105$ г, $R_4 = 60$ г, $R_5 = 57$ г и $Q = 30$ м³/с.

Решение. По неравенству $\frac{R_1}{R_5} > \frac{R_4}{R_3} = \frac{80}{57} > \frac{60}{105}$ устанавливаем, что воздух в диагонали движется от точки C к точке D . Значения x и y находим графическим методом в точке пе-

ресечения двух гипербол, подставляя в уравнение (3.62) произвольные значения y и x

$$x = \sqrt{\frac{R_4(y+1)^2 + R_2}{R_1}}; \quad y = \sqrt{\frac{R_2 + R_5(x+1)^2}{R_3}};$$

$y_1=0, x_1=1,09;$	$x_1=0, y_1=0,93;$
$y_2=1, x_2=1,85;$	$x_2=1, y_2=1,62;$
$y_3=2, x_3=2,68;$	$x_3=2, y_3=2,29;$
$y_4=3, x_4=3,54;$	$x_4=3, y_4=3;$
$y_5=4, x_5=4,39;$	$x_5=4, y_5=3,74;$
$y_6=5, x_6=5,15;$	$x_6=5, y_6=4,42.$

Строим две кривые (рис. 3.21) и находим $x=4,3$ и $y=3,9$.

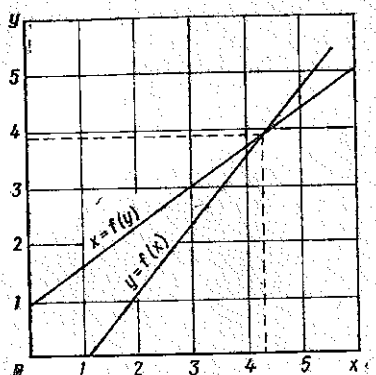


Рис. 3.21. К определению точки пересечения двух гипербол графическим методом при расчете воздуха в диагональном соединении

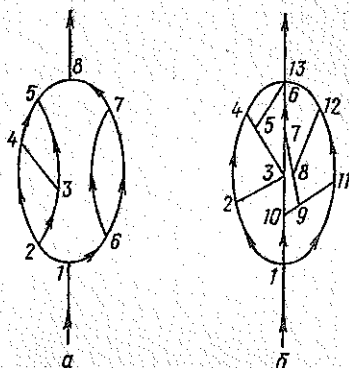


Рис. 3.22. Схема вентиляционных струй с комбинированным (а) и сложным (б) проветриванием: 1-12 — места соединения струй

Определяем количество воздуха в ветвях, учитывая, что при направлении движения воздуха в диагонали от C к D , $Q = q_5 - q_2 + q_4$, $q_3 = q_4 - q_2$, $q_2 = Q/x + y - 1$, $q_4 = xq_2$, $q_5 = yq_2$ и $q_1 = Q - q_3$.

Тогда $q_2=4,2$, $q_4=18$, $q_3=13,8$, $q_5=16,2$ и $q_1=12$ м³/с. Две проверки: $q_5 = q_1 + q_2 = 12 + 4,2 = 16,2$ и $Q = q_5 + q_3 = 16,2 + 13,8 = 30$ м³/с. Решение правильное.

Вентиляционные системы, состоящие из комбинированных и сложных соединений выработок, — вентиляционные системы с движением воздуха одновременно по последовательно, параллельно и диагонально соединенным выработкам, которые нельзя отнести к этим соединениям и их комбинациям (рис. 3.22). Комбинированные и сложные вентиляционные системы весьма распространены на шахтах. Одним из решений является опре-

деление общего сопротивления и дебита воздуха в элементах системы (последовательных, параллельных и диагональных выработках) и получение из комбинированной системы, например, простейшей параллельной, решение которой дает окончательный ответ.

Решение более сложных вентиляционных систем основано на ряде закономерностей различных соединений, заимствованных из теории графов. Графы — это построения, состоящие из множества точек, изображающих различные предметы, соединенные линиями в определенном порядке, означающем некоторые отношения.

Все вентиляционные соединения можно поделить на ряд замкнутых контуров — соединений по бесконечным линиям, например 2, 2', 3, 2'', 2; 1, 2, 2', 3, 4, 5, 1, как показано на рис. 3.23, где точки 5 и 4, имеющие одинаковое давление (например, атмосферное), условно соединены штрихпунктирной линией. Точка (или вершина) — схождение линий.

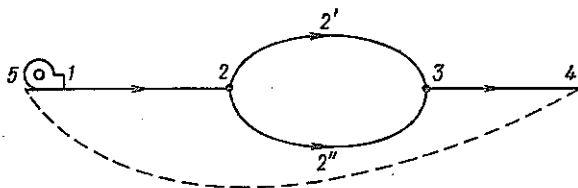


Рис. 3.23. Схема графа, поясняющая наименования элементов в комбинированном и сложном соединениях:

1, 2, 2', 3, 2'', 4, 5 — точки построения

Точки схождения трех струй и более называются узлами (2 и 3); выработки, находящиеся между узлами, — ветвями (2, 2', 3; 2, 2'', 3; 3, 4, 5, 1, 2). Движение воздуха в контуре по часовой стрелке считается положительным (например, от 2 к 3 через 2'), против часовой стрелки — отрицательным (например, от 2 к 3 через 2'').

Дуга — ветвь с направлением (2, 2', 3; 2, 2'', 3), ребро — ветвь без направления (4, 5). Дерево — граф без циклов, т. е. без соединений типа диагональных, как на рис. 3.23.

Два соединения подобны, если у них равны число узлов и ветвей, сходны напорные характеристики и отношения сопротивлений, а также равны R_e в сходственных ветвях.

Тогда:

1. Сумма количества воздуха, подходящего и отходящего от данного узла, равна нулю

$$\Sigma(q) = 0. \quad (3.84)$$

Например, в узле 2: $q_{1-2} = q_{2-2'} + q_{2-2''}$, $q_{1-2} + [-(q_{2-2'} + q_{2-2''])] = 0$ или $\Sigma q_2 = 0$.

2. Сумма потерь депрессии в ветвях, составляющих контур, равна нулю. Для контура без вентилятора

$$\Sigma(Rq_2) = 0. \quad (3.85)$$

Например, в контуре 2—3 и 2,2',3 = h_{2,2',3},

или

$$h_{2,2',3} + (-h_{2,2',3}) = 0; \text{ и } \Sigma(h_{2-3}) = 0, \text{ или } \Sigma(R_{2-3}q_{2-3}^2) = 0.$$

Для контура с вентилятором

$$\Sigma(h) = \Sigma(Rq^2), \quad (3.86)$$

потери депрессии вентилятора равны сумме потерь ее в ветвях контура. Например, для контура 1—4

$$h_v = R_{1-2} q_{1-2}^2 + R_{2,2',3} q_{2,2',3}^2 + R_{3-4} q_{3-4}^2 \quad \text{или} \quad h_v = R_{1-2} q_{1-2}^2 + R_{2,2',3} q_{2,2',3}^2 + R_{3-4} q_{3-4}^2.$$

3. Отношения количества воздуха в ветвях зависят от сопротивления ветвей и не зависят от общего количества воздуха и депрессии соединения.

Так как q отдельных ветвей изменяется пропорционально изменению Q и h соединения, то при изменении Q_1 до Q_2 общее количество воздуха соединения и каждой ветви изменится $Q_2/Q_1 = n$ раз, при изменении депрессии, соответственно, $\sqrt{h_2/h_1} = m$ раз. Последний не влияет на отношение количества воздуха, что видно из следующего выражения

$$\frac{n \cdot q_{1-2}}{n \cdot q_{3-4}} = \frac{q_{1-2}}{q_{3-4}}. \quad (3.87)$$

4. Нарушение воздухораспределения в любом из контуров (в результате изменения сопротивления или депрессии любой ветви) сохраняется в нем до восстановления равенства $\Sigma(Rq^2) = 0$.

5. Изменение воздухораспределения в данном контуре передается в соседние контуры с убывающей величиной изменения.

Решение сложных соединений на основе приведенных закономерностей возможно несколькими способами:

а) находят приближенное воздухораспределение ($\Sigma Q = 0$), которое затем неоднократно уточняют до соответствия уравнениям $\Sigma(Rq^2) = 0$ и $\Sigma(h) = \Sigma(Rq^2)$; порядок решения может быть и обратным: находят и приближенно распределяют депрессии, а затем уточняют их до соответствия уравнению $\Sigma(q) = 0$;

б) для неизвестных q и h составляют системы уравнений $\Sigma(q) = 0$, $\Sigma(Rq^2) = 0$ и $\Sigma(h) = \Sigma(Rq^2)$, которые решают одним из математических способов.

Для расчета сложных соединений разработаны и применяются методы последовательных приближений, корректирующих контурных потоков и ряд других.

Рассмотрим пример использования метода корректирующих потоков при расчете воздухораспределения в случае изменения в вентиляционной системе местного дебита. Расчеты сводятся к нахождению контуров, ближайших к заданному, и изменения в них вентиляционных параметров, которые могут повлиять на эффективность проветривания горных работ.

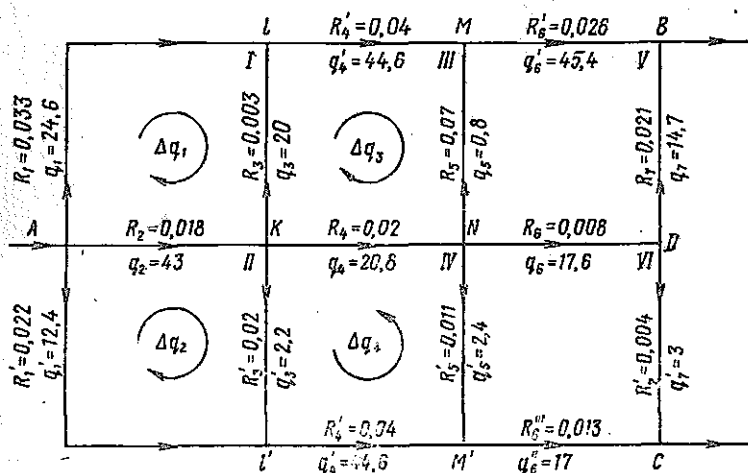


Рис. 3.24. Расчетная схема комбинированного вентиляционного соединения ABC, состоящего из контуров I (AIK), II (AKI'), III (KIMN), IV (I'KNM'), V (NMBD), VI (M'NDC)

В соединении ABC (рис. 3.24), представляющем одну из вентиляционных схем горизонта скреперования, при известных сопротивлениях ветвей и месте возникновения дополнительной тяги (в ветви AI контура I, AIKA), необходимо установить новое воздухораспределение, соответствующее восстановлению равенства $\Sigma(Rq^2) = 0$ в первом и других контурах, оказавшихся под влиянием дополнительной тяги. Дополнительная тяга была вызвана установкой вентиляционного сооружения. Общий дебит соединения постоянен. Дебит некоторых ветвей (штреков скреперования) не должен быть меньше определенного количества.

Теоретическая часть. В контуре I благодаря дополнительной тяге Δh_1 возникает корректирующий контурный поток Δq_1 с определенным направлением движения. Его величина и на-

правление в Al могут быть найдены на основе следующих зависимостей:

$$h = Rq_d^2,$$

где q_d — действительное количество воздуха, проходящее по ветви.

В свою очередь,

$$q_1 = q + \Delta q,$$

где q — произвольно взятое количество воздуха, отличающееся от действительного на небольшую величину;

Δq — разница между действительным и произвольным количеством воздуха.

Можно записать, что $h = R(q + \Delta q)^2 = Rq^2 + 2Rq\Delta q + R\Delta q^2$.

При $\Delta q \ll q$ величиной $R\Delta q^2$ пренебрегаем, тогда

$$\Delta q = - \frac{Rq^2 - h}{2Rq}. \quad (3.88)$$

Если $Rq^2 - h = \Delta h$ — разница между действительным и произвольно взятым напором, то в общем случае для контура при $h > Rq^2$

$$\Delta q = - \frac{\Sigma(Rq^2) - h}{2\Sigma Rq} = - \frac{-\Delta h}{2\Sigma Rq} = 0,5 \frac{\Delta h}{\Sigma Rq}. \quad (3.89)$$

Для корректирующего потока контура I

$$\Delta q_1 = \frac{0,5\Delta h'}{\Sigma_1 Rq}, \quad (3.90)$$

где индекс I у знака суммы означает действия в пределах контура I .

Направление движения этого потока положительное, т. е. по часовой стрелке, совпадающее с движением воздуха в ветви Al . На схеме направление корректирующего потока показано кольцевой стрелкой.

Поправка Δq_1 изменит дебит ветви AK в сторону уменьшения, так как общее количество воздуха в ветвях Al и AK , как указано, сохраняется.

Депрессия ветви AK

$$h_2 - \Delta h_2 = R_2(q_2 - \Delta q_1)^2; \quad (3.91)$$

при $\Delta q \ll q$

$$-\Delta h_2 \cong -2R_2q_2\Delta q_1. \quad (3.92)$$

Ветвь AK общая для контура I и II , вследствие чего в последнем возникает свой корректирующий поток.

Величина корректирующего потока в контуре *II*

$$\Delta q_2 = \frac{0,5 \Delta h_2}{\Sigma_{II} R_q} = \frac{R_2 q_2}{\Sigma_{II} R_q} \cdot \Delta q_1. \quad (3.93)$$

Направление потока Δq_2 по знаку совпадает с Δq_1 , но меньше его, так как отношение

$$\frac{R_2 q_2}{\Sigma_{II} R_q} \quad (3.94)$$

всегда меньше единицы.

В общем случае

$$\frac{R_q}{\Sigma R_q} = a, \quad (3.95)$$

где a — коэффициент передачи дебита корректирующего потока соседнему контуру.

Тогда для контура *II*

$$\Delta q_2 = \Delta q_1 a_{12}. \quad (3.96)$$

Аналогично в контуре *III* через смежную ветвь *KI* возникает корректирующий поток, равный

$$\Delta q_3 = \Delta q_1 a_{13}. \quad (3.97)$$

Дальнейшее влияние дополнительной тяги в ветви *AI* распространяется от контура *II* на контуры *IV* и *VI*, кроме этого на контур *IV* распространяется влияние по линии контуров *I—III—IV*, а на *VI* — по линии *I—III—V—VI*. В свою очередь, на контуры *III* и *V* оказывают влияние корректирующие потоки по линиям *I—II—IV—III* и *I—II—IV—VI—V*.

Если на контур оказывают влияние несколько корректирующих потоков, то дебит их с учетом коэффициентов передачи, согласно принципу наложения, складывается. Например, для контура *IV* суммарный корректирующий поток равен

$$\Delta q_4 = \Delta q_1 (a_{12} a_{24} + a_{13} a_{34}), \quad (3.98)$$

для контура *V*

$$\Delta q_5 = \Delta q_1 (a_{13} a_{35} + a_{12} a_{24} a_{46} a_{65}). \quad (3.99)$$

И в общем случае

$$\Delta q_n = \Delta q_1 \Sigma a_{i-j}, \quad (3.100)$$

где Σa_{i-j} — сумма полных развернутых по линиям коэффициентов передачи дебита контуру n .

При более точных подсчетах воздухораспределения учитывается обратное влияние корректирующего потока каждого контура на предыдущий.

Сложнее установить все линии передач при изменении вентиляционных параметров не в одной ветви, а одновременно в нескольких. В этом случае составляются полные уравнения суммарных корректирующих потоков для каждого контура в отдельности

$$\Delta q_1 = \frac{0,5\Delta h}{\Sigma_1 Rq} + \Sigma a_{1-j} q_j, \quad (3.101)$$

где в правой части уравнения первый член определяет корректирующий поток, вызываемый изменением параметров в данном контуре, второй член определяет сумму вторичных корректирующих потоков в данном контуре, вызываемых смежными контурами.

Расчет. Исходные данные: в соединении (см. рис. 3.24) произошло увеличение дебита в ветви *AI* с 24,6 до 34,6 м³/с, общее количество воздуха $Q=80$ м³/с, новое воздухораспределение должно быть с минимальной величиной Δq , равной 0,3 м³/с, чтобы соответствовать дебиту ветви *NM*, который после воздухораспределения должен отвечать предельной скорости воздуха по пылеудалению на горизонте скрепления $V=0,5$ м/с при $S=5$ м².

Устанавливаем корректирующие потоки по формуле (3.96). Для контура *III* в направлении *I—III* $\Sigma_{III} Rq = 0,0028 \cdot 20 + 0,04 \cdot 44,6 + 0,075 \cdot 3 + 0,02 \cdot 20,8 = 2,44$.

Тогда

$$a_{13} = \frac{0,0028 \cdot 20}{2,44} = 0,0023$$

и

$$\Delta q_3 = \Delta q_1 a_{13} = 10 \cdot 0,0023 = 0,023 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.102)$$

Полученное количество воздуха удовлетворяет условию, поэтому дальнейших расчетов в этом направлении не требуется, за исключением проверки влияния контура *IV*.

Для контура *I* в направлении контуров *I—II*: $\Sigma_{II} Rq = 1,08$; $a_{12} = 0,7$ и $\Delta q_2 = 0$ м³/с.

Для контура *IV* в направлении контуров *I—II—IV*: $\Sigma_{IV} Rq = 0,67$, $a_{24} = 0,066$ и $\Delta q_4 = 0,4$ м³/с.

Для контура *III* с влиянием контура *IV*: $a_{43} = 0,62$; $\Delta q_3 = \Delta q_1 (a_{13} + a_{12} a_{24} a_{43}) = 0,033$ м³/с. Увеличение по сравнению с (3.102) небольшое.

Для контура *VI* в направлении *I—II—IV—VI*: $\Sigma_{VI} Rq = 0,38$, $a_{46} = 0,074$ и $\Delta q_6 = \Delta q_1 a_{12} a_{24} a_{46} = 0,03$ м³/с, что удовлетворяет условию, поэтому дальнейшие расчеты воздухораспределения могут быть прекращены.

Производим уточнение полученных результатов на основе свойства контуров $\Sigma Rq^2 = 0$. Порядок уточнения состоит в ряде

определений Δh по формуле (3.92) и внесении поправок в п ветвей до получения ΣRq^2 , близкого к нулевому значению.

В направлении I—III проверки не требуется из-за малого значения $\Delta q_3 = 0,033 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для контура II. Первое уточнение: $\Delta h_{AK} = 2\Delta q_1 R_2 q_2 = 2 \cdot 10 \cdot 0,018 \cdot 40 = 14,1$; $\Delta h_{KI} = 3,6$; $\Delta h_{AI} = 2,42$. Тогда $\Sigma Rq^2 = 9,1$.

Второе уточнение ведем только по одной ветви: $\Delta h_{AK} = 5,2$, $\Delta h_{KI} = 3,6$ и $\Delta h_{AI} = 2,42$. Тогда $\Sigma q^2 = 0,33$. Полученное значение близко к нулевому.

Аналогичным образом производится уточнение по контуру IV. Для контура VI уточнения не требуется из-за небольшого значения Δq_6 .

3.3. ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Электрическое моделирование позволяет исследовать различные вентиляционные системы, поэтому имеет большое распространение. Использование тока и электрических сетей для создания аналогов воздушным потокам и вентиляционным сетям возможно в связи с аналогией основных закономерностей.

В электрической сети, как и в вентиляционной, сумма токов в узловой точке равна нулю: $\Sigma I = 0$ — первый закон Кирхгофа, в замкнутом контуре сумма падения напряжений также равна нулю: $\Sigma KI = 0$ (второй закон Кирхгофа), в контуре с источником тока сумма электродвижущих сил $\Sigma E = \Sigma KI$.

Следовательно, если электрическая и вентиляционная сети подобны и выдержан масштаб моделирования, то замеры распределения токов в первой сети дадут качественную и количественную картину воздушораспределения во второй сети.

Аналогами вентиляторов в электрической сети служат источники тока, аналогами сопротивлений выработок — различные виды электрических сопротивлений.

Как правило, моделируется турбулентное движение воздуха, отвечающее закону

$$h = RQ^2. \quad (3.103)$$

Для этого могут применяться нелинейные сопротивления, например лампы накаливания, которые подбираются по характеристике, отвечающей уравнению

$$U = K' I^2, \quad (3.104)$$

где K' — квадратичное электрическое сопротивление, или коэффициент пропорциональности.

Однако необходимость широкого подбора ламп ограничивает их применение при электрическом моделировании.

Для ламинарного движения депрессия выражается в виде

$$h = (RQ)Q \quad (3.105)$$

и

$$U = K''I, \quad (3.106)$$

что аналогично электрической сети с омическим сопротивлением,

где K'' — линейное электрическое сопротивление.

Тогда, используя масштабы моделирования, имеем

$$h = m_h \cdot U, \quad (3.107)$$

$$Q = m_Q I, \quad (3.108)$$

$$K'' = m_{K''} \cdot RQ, \quad (3.109)$$

$$K' = m_K \cdot R. \quad (3.110)$$

Масштабы моделирования связаны между собой, что становится видно, если уравнение (3.105) поделить на уравнение (3.106) и уравнение (3.105) — на уравнение (3.104):

$$\frac{h}{U} = \frac{RQ}{K''I}, \quad (3.111)$$

$$\frac{h}{U} = \frac{R}{K'} \left(\frac{Q}{I} \right)^2. \quad (3.112)$$

Заменив отношения в (3.111) и (3.112) на масштабы (3.107) и (3.108), получим уравнения их взаимосвязи

$$m_h = m_{K''} \cdot m_Q, \quad (3.113)$$

$$m_h = m_K \cdot m_Q^2. \quad (3.114)$$

В свою очередь, поделив (3.113) на (3.114), получим еще одно уравнение взаимосвязи

$$m_{K''} = m_K \cdot m_Q. \quad (3.115)$$

Два масштаба выбираются произвольно, один рассчитывается.

Установление воздушораспределения, отвечающего квадратичной зависимости, решается одним из двух способов: последовательным приближением при произвольно взятом вначале Q , или линейно-кусочной аппроксимацией, т. е. приближением линейно-ступенчатых сопротивлений к параболической кривой квадратичной зависимости.

При использовании первого способа по произвольному значению Q для каждой ветви находят приближенные значения K'' по зависимости (3.109) и собирают по ним электрическую

цепь. После подачи напряжения измеряют в ветвях I и вычисляют с учетом масштаба новое значение Q_1 .

Если Q было взято меньше истинного значения, то Q_1 будет больше, так как чем меньше Q , тем меньше K'' и больше I и Q. Следовательно, искомое Q будет занимать промежуточное значение между Q и Q_1 , поэтому дальнейший ход решения связан с уточнениями значения K'' до постоянной величины и нахождением новых значений Q, близких к искомой. Например, первое уточненное значение

$$K_2' = 0,5 (K_1' + m_K R Q_1'). \quad (3.116)$$

На этом принципе работает прибор ППРВС-ДГИ.

В устройствах, действующих на способе линейно-кусочной аппроксимации (например, ЭМВС-6 ИГД им. А. А. Скочинского), установлены ступенчатые сопротивления, автоматически включающиеся по мере увеличения напряжения на зажимах.

Графическая характеристика устройства представляет собой ломаную линию, близкую к параболе, где точка перехода соответствует моментам подключения групп сопротивлений, число которых находится в зависимости от требуемой степени аппроксимации.

Порядок выполнения работ на устройстве ЭМВС-6 следующий: 1) сбор электрической цепи, 2) проверка правильности соединений, 3) настройка источников тяги в соответствии с задачей, 4) измерение распределения I и U, что будет соответствовать величинам Q ($\text{м}^3/\text{с}$) и h (даПа). Дополнительных расчетов при этом не делается.

Пример. Требуется промоделировать распределение воздуха в диагональном соединении (рис. 3.25) при $Q=30 \text{ м}^3/\text{с}$. Выбираемые масштабы моделирования $m_h=2,5 \text{ даПа/в}$ и $m_K=0,01 \text{ даПа/с}^2/\text{м}^4/\text{в}/\text{А}^2$. Рассчитанный по формуле (3.114)

$$m_Q = 50 \frac{\text{м}^3/\text{с}}{\text{а}}.$$

$$\begin{aligned} \text{Находим квадратичное сопротивление: } K_1' &= 160 \text{ Ом}, K_2' = \\ &= 70 \text{ Ом}, K_3' = 210 \text{ Ом}, K_4' = 120 \text{ Ом}, K_5' = 114 \text{ Ом}. I_{\text{общ}} = \frac{Q}{m_Q} \\ &= \frac{30}{50} = 0,6 \text{ мА}. \end{aligned}$$

Собираем модель с $I=0,6 \text{ мА}$ и находим $U=25,6 \text{ В}$, что соответствует $h=2,5 \cdot 25,6=64 \text{ даПа}$. Замеряем ток в ветвях и находим q (табл. 3.2).

По расчету $h=64,8 \text{ даПа}$, ошибка моделирования 1,6%. Максимально допустимая ошибка должна быть не более 4%.

Таблица 3.2

Ветвь	Ток, мА	Дебит ветви, м ³ /с	Дебит по расчету, м ³ /с	Расхождение, м ³ /с	Расхождение, %
1	0,275	13,72	14	0,25	1,7
2	0,065	3,25	3,2	0,05	1,56
3	0,245	12,3	12,8	0,5	3,9
4	0,32	16	16	—	—
5	0,36	17,5	17,2	0,3	1,7

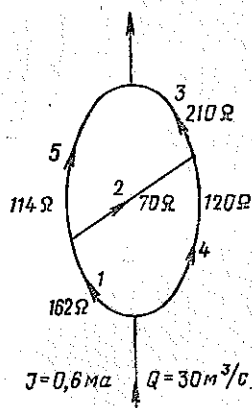


Рис. 3.25. Расчетная схема параллельного соединения при определении распределения воздуха с помощью электро моделирования

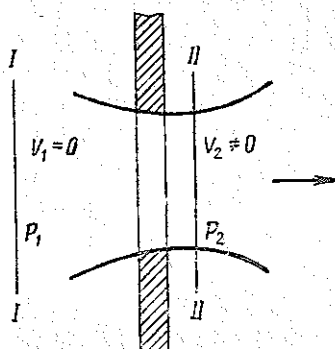


Рис. 3.26. Расчетная схема к определению площади эквивалентного отверстия

Кроме этого, расчет сетей ведут на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ) с составлением соответствующих алгоритмов и программ.

При исследованиях шахтных вентиляционных сетей применяют также физические и электрогидравлические модели. Критерии подобия физического моделирования приведены на с. 55.

3.4. ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ОТВЕРСТИЕ И ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ШАХТ

Отверстие в тонкой стенке, через которое при перепаде давления, равном депрессии шахты (или выработки), прохо-

дит общешахтное (или выработки) количество воздуха, называется эквивалентным шахте (или выработке). Это условное понятие введено для наглядной аэродинамической оценки шахты (или выработки). Как и сопротивление R , оно позволяет судить о степени трудности проветривания.

Площадь эквивалентного отверстия A находят на основе составления уравнения Бернулли для движения воздуха, причем трением воздуха о тонкую стенку пренебрегают (рис. 3.26).

Тогда, согласно условию, можно записать следующее выражение:

$$P_1 + \frac{V_1^2}{2g} \gamma = P_2 + \frac{V_2^2}{2g} \gamma, \quad (3.117)$$

где P_1 и P_2 — давления воздуха, соответственно, в сечениях $I-I$ и $II-II$;

V_1 — скорость воздуха в сечении $I-I$, $V_1=0$, так как отверстие по сравнению со стенкой очень мало, а сечение $I-I$ достаточно удалено от стенки;

V_2 — скорость воздуха в сечении $II-II$, самом узком сечении струи.

Тогда

$$P_1 - P_2 = h = \frac{V_2^2}{2g} \gamma \quad (3.118)$$

и

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gh}{\gamma}}. \quad (3.119)$$

Количество воздуха, проходящее через сечение $II-II$

$$Q = S_{II-II} \cdot V_2, \quad (3.120)$$

где S_{II-II} — площадь сечения $II-II$,

$$S_{II-II} = \varphi A; \quad (3.121)$$

φ — коэффициент расхода воздуха при истечении его из отверстия с площадью A , $\varphi=0,65$.

Тогда из уравнения (3.120)

$$V_2 = \frac{Q}{0,65 A}. \quad (3.122)$$

Сравнивая уравнения (3.119) и (3.122), получим

$$\sqrt{\frac{2gh}{\gamma}} = \frac{Q}{0,65 A}$$

и

$$A = \frac{Q}{0,65 \sqrt{\frac{2gh}{\gamma}}}.$$

Подставив известные значения, получаем окончательно площадь эквивалентного отверстия

$$A = \frac{0,38 Q}{\sqrt{h}}. \quad (3.123)$$

Размерность эквивалентного отверстия

$$[A] = \frac{Q}{(gh\gamma^{-1})^{1/2}} = \frac{m^3/c}{(m/c^2 \cdot \text{кг}/m^2 \cdot m^3/\text{кг})^{1/2}} = m^2$$

Принято считать, что: при значении $A < 1 \text{ м}^2$ шахта узкая, или труднопроветриваемая, при $A = 1-2 \text{ м}^2$ — средняя, при $A > 2 \text{ м}^2$ — широкая, или легкопроветриваемая.

Для железно-рудных шахт с учетом подсосов и утечек

$$A = \frac{0,38 \left(1 + \frac{Q_n}{Q_\phi}\right)}{\sqrt{R'_{\text{вх}} + R'_{\text{вых}} \left(1 + \frac{Q_n}{Q_\phi}\right)^2 M}}, \quad (3.124)$$

где Q_ϕ — фактическое количество воздуха, поступающее в шахту;

Q_n — величина утечек или подсосов воздуха через зону обрушения;

$R'_{\text{вх}}$ — сопротивление выработки от устья подающего ствола до вентиляционного горизонта;

$R'_{\text{вых}}$ — сопротивление выработки от вентиляционного горизонта до устья вентиляционного ствола;

M — коэффициент, учитывающий местные сопротивления, $M = 1,25$.

Для шахт с одновременным действием вентилятора и естественной тяги

$$A = \frac{0,38 Q}{\sqrt{h_n \pm h_e}}. \quad (3.125)$$

Для проветривания шахты несколькими вентиляторами

$$A = 0,38 \frac{Q_{\text{ш}}}{\sqrt{\frac{h_1 Q_1 + h_2 Q_2 + \dots + h_n Q_n}{Q_{\text{ш}}}}}, \quad (3.126)$$

где 1, 2 ... n — порядковые номера вентиляторов.

При проветривании шахт, расположенных выше уровня моря, с поправкой на высоту

$$A_{в.г} = \frac{3,68 A}{\sqrt{P_{в.г}}}, \quad (3.127)$$

где $P_{в.г}$ — среднегодовое барометрическое давление на заданной высоте, гПа.

Если в уравнении (3.123) заменить $h = RQ^2$, то

$$A = \frac{0,38}{\sqrt{R}} \quad (3.128)$$

и

$$R = \frac{0,144}{A^2}. \quad (3.129)$$

Для сопротивления в малых единицах, г

$$A = \frac{12}{\sqrt{r}} \quad (3.130)$$

и

$$r = \frac{144}{A^2}. \quad (3.131)$$

При последовательном соединении выработок $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$, тогда, заменив R в соответствии с (3.129), получим

$$A = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \dots + \frac{1}{A_n^2}}}. \quad (3.132)$$

Если при параллельном соединении в уравнениях (3.45) и (3.46) заменим R_1 и R_2 , то получим

$$q_1 = \frac{QA_1}{A_1 + A_2} \quad (3.133)$$

и

$$q_2 = \frac{QA}{A_1 + A_2}. \quad (3.134)$$

Если в том же соединении заменим R_1 и R_2 в уравнении (3.49), то получим

$$A = A_1 + A_2. \quad (3.135)$$

Уравнение (3.135) подчеркивает целесообразность параллельных соединений, так как значения A суммируются, увеличивая площадь эквивалентного отверстия.

Количество воздуха, проходящее через шахту (или выработку) при депрессии 1 даПа, называется пропускной способностью K

$$Q = K = \sqrt{\frac{h}{R}} = \frac{1}{\sqrt{R}}. \quad (3.136)$$

Пропускная способность как аэродинамическая оценка близка эквивалентному отверстию, что видно, если в уравнении (3.136) заменить $R = h/Q^2$

$$K = \frac{Q}{\sqrt{h}}. \quad (3.137)$$

Если сравнить (3.123) и (3.137) при A , равном 1 и 2, то получим

$$K = \frac{1}{0,38} \text{ и } K = \frac{2}{0,38}.$$

Тогда для узких шахт $K < 2,64$, средних — 2,64—5,26 и широких — более 5,26 м³/с.

3.5. ЕСТЕСТВЕННАЯ ТЯГА ВОЗДУХА НА ШАХТАХ И В КАРЬЕРАХ

Проветривание выработок без механического вмешательства называется естественной тягой воздуха. Ее могут вызвать разные плотности воздуха в столбах (стволах), скорости ветра (скоростной напор) и температуры. В шахтах основной причиной естественной тяги воздуха считают гравитационные силы. В карьере естественная тяга может возникать по ряду причин, основной из которых является конвектная, т. е. движение масс свежего воздуха в карьер на обмен отработанного.

В пересеченной местности при разных высотных отметках устьев стволов столб воздуха AC , состоящий из $AB + BC$, имеет одинаковую высоту со столбом ED (рис. 3.27). Зимой за счет более холодной части AB столб воздуха AC будет тяжелее ED , и в выработках начнется движение воздуха от точки B к точке E . Летом, наоборот, столб воздуха ED будет тяжелее, и движение воздуха будет происходить от точки E к точке B . В приведенных случаях естественная тяга будет как при работе вентилятора, так и без него.

Если устья стволов находятся на равных высотных отметках, то без работы вентиляторов естественной тяги не будет, так как удельные веса воздуха в столбах не будут отличаться

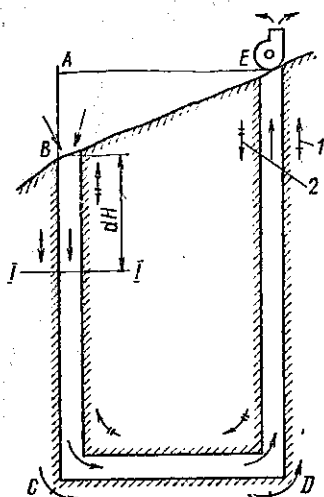


Рис. 3.27. Условная схема выработки шахты, поясняющая естественную тягу в шахте:

1 — направление движения воздуха, когда естественная тяга помогает работе вентилятора; 2 — направление движения воздуха, когда естественная тяга препятствует работе вентилятора

В шахтах глубиной 400—500 м h_e не достигает 25—30 даПа, в более глубоких — 700—800 м — 50—60 даПа и 1000—1200 м — 100—120 даПа. В шахтах с большим эквивалентным отверстием естественная тяга выше.

На естественную тягу влияет, главным образом, температура воздуха в воздухоподающем стволе (или температура поступающего воздуха). Температура исходящей струи в течение года изменяется мало. В неглубоких шахтах, а также в шахтах, имеющих связь с карьером или зоной обрушенных пород, колебания естественной тяги могут быть и осенне-весенние и даже суточные.

При обычной схеме зима — лето действие естественной тяги на шахте, связанной с зоной обрушения, показано на рис. 3.28, откуда видно, что провал действует как дополнительный подающий ствол, струя которого, однако, минует забой. Действие провала на естественную тягу сильнее, так как воздух здесь нагревается или охлаждается быстрее.

В зимнее время снижение действия h_e достигается подогревом воздуха в подающем стволе. Подогрев при наличии связи с зоной обрушения может усиливать естественную тягу

друг от друга. В зимнее время работающие вентиляторы наполняют воздухоподающий ствол холодным воздухом, а в летнее время — теплым, создавая тем самым условия для естественной тяги.

Величина тяги может составлять до 20—25% депрессии вентилятора.

Депрессия естественной тяги

$$h_e = P_C - P_D = H_0 \gamma_0 + H_1 \gamma_1 - H_2 \gamma_2, \quad (3.138)$$

или для устьев стволов с равными отметками

$$h_e = H(\gamma_1 - \gamma_2), \quad (3.139)$$

где P_C и P_D — давление столбов воздуха в точках C и D.

Проветривание шахт только за счет естественной тяги запрещено в СССР ПБ, поскольку в дебите воздуха могут быть различные колебания от нуля и более, что недопустимо при наличии в шахтах людей.

через провал, что служит причиной опрокидывания подающей струи и сильного обмерзания устьев стволов.

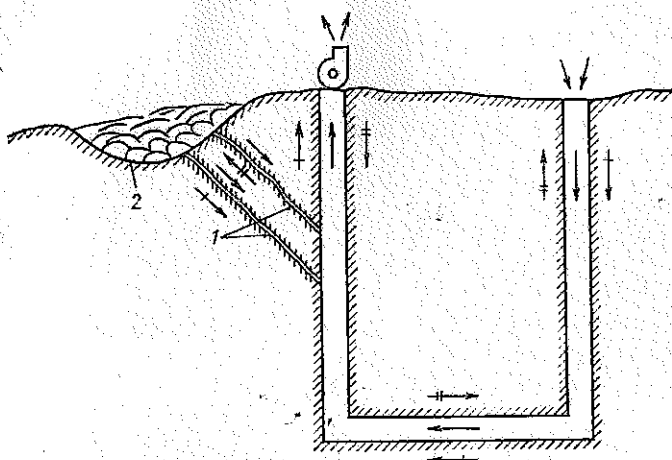


Рис. 3.28. Условная схема выработок рудной шахты с провалом поверхности:

1 — трещины, соединяющие вентиляционный ствол шахты с провалом;
2 — провал поверхности

Если на шахте стволы имеют большое сопротивление, а очистные выработки малое, то естественная тяга может образовать внутри шахты круговые потоки.

При выемке полезного ископаемого одновременно на нескольких горизонтах взаимодействие естественной тяги на них аналогично сложным вентиляционным соединениям и может быть рассчитано. Естественная тяга при подаче воздуха в шахту по нескольким стволам подсчитывается как средневзвешенная величина

$$h_c = \frac{Q_1 h'_c + Q_2 h''_c + \dots + Q_n h^n_c}{Q_{\text{общ}}} \quad (3.140)$$

Определение h_c по формуле (3.139) требует сложных подсчетов температуры и давления. Поэтому для быстрых расчетов депрессии

$$h_c = P_0 \frac{H}{100} (a_1 - a_2), \quad (3.141)$$

где коэффициенты a_1 и a_2 находятся в зависимости от средней температуры воздуха в подающем и выдающем стволах.

Для вывода формулы (3.141) возьмем какое-либо сечение $I—I$ воздушного столба BC , отстоящее от устья ствола на расстоянии dH (см. рис. 3.27). В сечении действует давление

$$P'_0 = P_0 + \gamma dH \quad (3.142)$$

и противодействующая сила

$$P'_0 = P_0 + dP. \quad (3.143)$$

Приравняв оба уравнения и поставив знаки интегрирования, получим

$$\int_{P_0}^{P_c} \frac{dP}{\gamma} = \int_0^H dH. \quad (3.144)$$

Решение этого уравнения производим для условий изотермического процесса $PV = RT'_{cp}$.

Заменив в (3.144) γ на $1/v$, получим

$$RT'_{cp} \int_{P_0}^{P_c} \frac{dP}{P} = \int_0^H dH. \quad (3.145)$$

Тогда

$$1_n \frac{P_c}{P_0} = \frac{H}{RT'_{cp}} \quad (3.146)$$

и

$$P_c = P_0 e^{\frac{H}{RT'_{cp}}}. \quad (3.147)$$

После разложения $e^{\frac{H}{RT'_{cp}}}$ в ряд $e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots$ и использования только первых двух членов получаем

$$P_c = P_0 \left(1 + \frac{H}{RT'_{cp}} \right). \quad (3.148)$$

Отсюда, согласно разности $P_c - P_D$, депрессия

$$h_c = P_0 \left(1 + \frac{H}{RT'_{cp}} \right) - P_0 \left(1 + \frac{H}{RT''_{cp}} \right) \quad (3.149)$$

или после перевода давления в даПа.

$$h_c = P_0 \frac{H}{100} \left(13,6 \frac{100}{RT'_{cp}} - 13,6 \frac{100}{RT''_{cp}} \right) = P_0 \frac{H}{100} (a_1 - a_2).$$

Коеф- фици- ент	t_{cp}										
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
α	0,191	0,187	0,184	0,180	0,177	0,174	0,17	0,167	0,164	0,161	0,59

Примечание. Для $H_{ств} > 100$ м h_e умножают на $1 + \frac{H_{ств}}{1000}$.

Часто пользуются менее точной формулой

$$h_e = 0,0074 H (t'_{cp} - t''_{cp}), \quad (3.150)$$

где t'_{cp} и t''_{cp} — средние температуры воздуха, соответственно поступающего и выходящего из шахты.

Графическое изображение естественной тяги в координатах h и Q в зависимости от количества воздуха, проходящего по шахте под действием вентилятора, называется характеристикой естественной тяги. Теоретически эта зависимость должна выражаться кривыми, поднимающимися вверх в зимнее время (так как с увеличением дебита вентилятора будет расти и количество поступающего в шахту холодного воздуха) и опускающимися вниз в летнее время (так как с поступлением в шахту большого количества теплового воздуха разница в температурах воздуха в стволах уменьшается) (рис. 3.29, а).

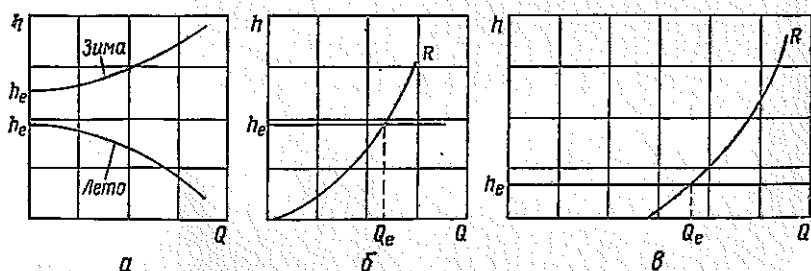


Рис. 3.29. Характеристика естественной тяги в шахты:

а — теоретические кривые h_e ; б — принятое изображение h_e ; в — изображение h_e и R при совместной работе вентилятора и естественной тяги

Однако практически с целью обеспечения вентиляционных расчетов без снижения их необходимой точности принимают характеристику h_e в виде прямой, параллельной оси

абсцисс (рис. 3.29, б). Характеристика сети здесь проходит через начало координат.

В шахте потоки воздуха одновременны. Характеристика шахты, в дебите которой одновременно учитывается количество воздуха, подаваемого в выработку вентилятором и естественной тягой, представлена на рис. 3.29, откуда видно, что парабола несколько смещена за счет Q_e . Естественная тяга в карьерах возникает в результате разности плотностей воздуха при конвекционном процессе и колебаниях температурного градиента.

В различное время суток воздух в карьерах может либо передвигаться к массам холодного наружного воздуха (утром), либо вытесняться последним (ночью). В первом случае поток воздуха будет двигаться за счет конвекции, во втором — за счет разности плотностей наружного и карьерного воздуха.

Изменение температурного сухадиабатического градиента, равного 1°C на 100 м глубины, характерно для штилевых дней, когда в карьере в результате добычных процессов происходит рост температуры. Превышение адиабатического значения приводит к неустойчивости атмосферы карьеров, которая вызывает восходящие воздушные потоки и способствует воздухообмену.

К естественному воздухообмену относится также проветривание карьера за счет движения ветра. Скорость ветра может быть искусственно увеличена с помощью рационального расположения поверхностных сооружений и отвалов. Последние должны быть размещены во всех четырех частях карьерного поля под углом, соответствующим образованию из сооружений и отвалов конфузоров в направлении господствующих ветров. При этом сами сооружения, конечно, не должны выделять вредных примесей, так как в противном случае они будут заноситься в карьер.

Необходимо также следить за освобождением территории, непосредственно примыкающей к карьере, от мелких построек и помещений. По возможности надо стремиться к уменьшению угла откосов бортов карьера. Это может быть достигнуто регулированием объемов вскрыши.

Для повышения эффективности естественного воздухообмена целесообразно располагать вытянутую ось карьера или въездную траншею в направлении господствующих ветров.

Для естественной аэрации карьеров должны быть максимально использованы природные ресурсы.

Более подробные сведения о естественной тяге в карьерах приведены в п. 7.1 при анализе схем проветривания.

4. ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

4.1. ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Искусственная вентиляция шахт осуществляется с помощью главных, вспомогательных и местных вентиляторов.

Главные вентиляторы работают на общешахтную сеть выработок и устанавливаются в стволах. Вспомогательные вентиляторы также работают на общую сеть, но помещаются в одной из подземных выработок. Местные вентиляторы служат главным образом для проветривания протяженных тупиковых выработок.

По конструкции различают два типа вентиляторов: осевые и центробежные.

Отличительной особенностью *осевого вентилятора* является сохранение направления движения прокачиваемого воздуха до и после вентилятора. Осевые вентиляторы (рис. 4.1)

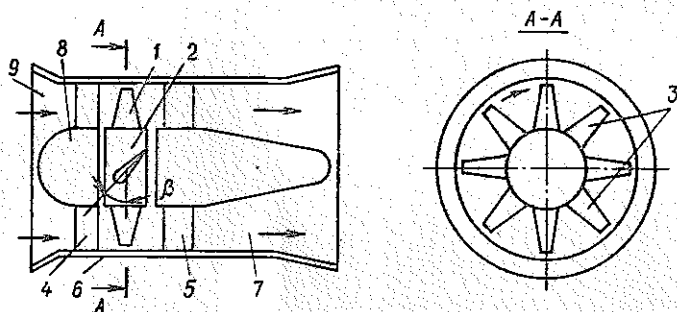


Рис. 4.1. Осевой вентилятор:

- 1 — рабочее колесо; 2 — втулка колеса; 3 — лопатки рабочего колеса; 4 — направляющий аппарат; 5 — спрямляющий аппарат; 6 — кожух; 7 — диффузор; 8 — обтекатель; 9 — коллектор; β — угол поворота лопаток

состоят из рабочего колеса 1, включающего втулку 2 и профилированные лопатки 3, направляющего и спрямляющего аппаратов 4 и 5, которые устанавливаются, соответственно, на всасе и выходе воздуха из вентилятора. Рабочих колес и направляющих аппаратов у осевого вентилятора может быть несколько. Производительность и напор вентилятора регулируют с помощью поворота лопаток β (от 10—15 до 50—60°), направляющих аппаратов и рабочих колес.

Недостатком осевых вентиляторов является сильный шум, вызываемый высокими окружными скоростями рабочих колес (95—100 м/с). Для уменьшения шума строят специаль-

ные глушители в виде нескольких стенок с пористой звукопоглощающей поверхностью, между которыми проходит воздух, выходящий из вентилятора. Однако глушители снижают производительность осевых вентиляторов.

Коэффициент полезного действия (кпд) осевых вентиляторов — 0,72—0,8.

В *центробежных вентиляторах* направление движения воздуха меняется на 90° . Вентилятор (рис. 4.2) состоит из рабочего колеса 2, спирального кожуха 1, направляющего аппарата 3, диффузора 4 и всасывающего канала 5.

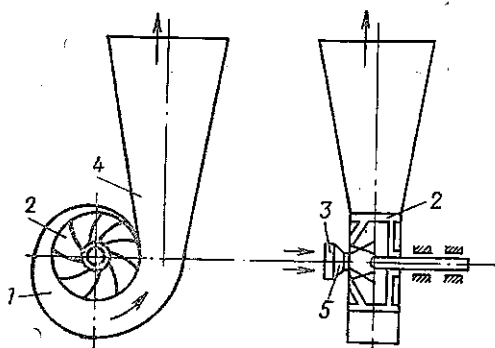


Рис. 4.2. Центробежный вентилятор:
1 — кожух; 2 — рабочее колесо; 3 — направляющий аппарат; 4 — диффузор; 5 — входной патрубок

По конструкции центробежные вентиляторы могут быть с односторонним и двусторонним всасыванием.

Производительность вентилятора регулируют с помощью изменения угла установки лопаток направляющего аппарата (от 0 до 90°). Рабочее колесо имеет жесткие лопатки по типу «беличьего» колеса.

Такие вентиляторы практически бесшумны. Недостатком их является относительно низкий кпд — 0,65—0,75.

При депрессиях (200—300 даПа) предпочтение отдают осевым вентиляторам, при больших депрессиях — центробежным.

Местные вентиляторы используются также в карьере.

Индивидуальная характеристика вентилятора — графическое выражение зависимости между Q и h при определенном диаметре рабочего колеса, числе оборотов и сопротивлении. Кривая представляет собой геометрическое место точек, определяющее различные режимы его работы. Строится по данным заводских и производственных испытаний.

Характеристики вентиляторов могут быть монотонные (центробежные и осевые двухступенчатые вентиляторы), с максимумом (осевые одноступенчатые вентиляторы) и седловидные (осевые вентиляторы при угле установки лопаток рабочего колеса более 15°) (рис. 4.3).

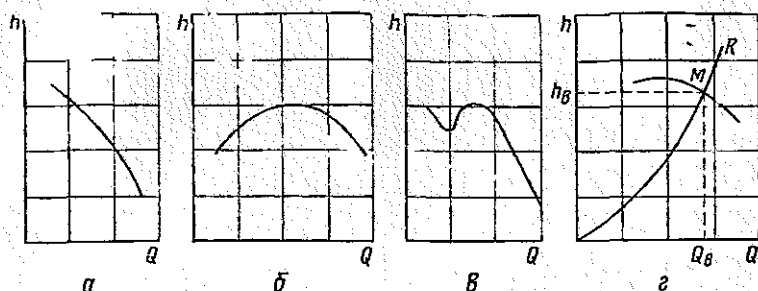


Рис. 4.3. Характеристики вентиляторов:

a — монотонная характеристика; *б* — характеристика с максимумом; *в* — седловидная характеристика; *г* — совместная характеристика вентилятора и шахты; *M* — характерная точка, определяющая депрессию и количество воздуха вентилятора

Если характеристику источника тяги (вентилятора или естественной тяги) совместить с характеристикой вентиляционной сети (см. рис. 4.3,г), то на пересечении двух кривых получим характеристику режима работы вентилятора. При этом ордината точки *M* будет равна депрессии шахты, а абсцисса — количеству воздуха, проходящему через вентилятор.

На индивидуальных характеристиках кроме зависимости между *Q* и *h* даются кпд η и мощность вентилятора *N*, которые строятся по коэффициентам

$$\bar{N} = \frac{102 N}{\rho F U^3} \quad (4.1)$$

и

$$\bar{\eta} = \frac{Q P}{102 N}, \quad (4.2)$$

где *N* — мощность на валу вентилятора

$$N = \frac{Q_B h_B}{102 \eta} \quad (4.3)$$

ρ — плотность воздуха, $\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$;

F — площадь рабочего колеса, м^2 ,

$$F = \frac{\pi D^2}{4}; \quad (4.4)$$

U — окружная скорость, м/с,

$$U = \frac{\pi D n}{60}; \quad (4.5)$$

n — число оборотов рабочего колеса в 1 мин;

P — полное давление, развиваемое вентилятором, даПа.

Полученные данные используются при проектировании проветривания горных выработок.

Вентиляционные устройства на поверхности шахты включают: канал вентилятора, вентилятор, диффузор, а также приспособления для реверсирования струи, глушения шума, автоматизации и очистки.

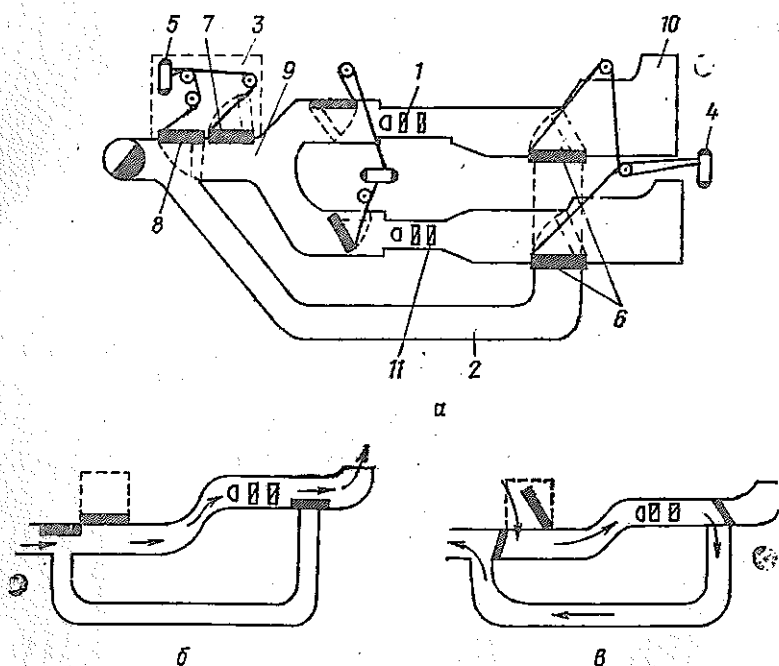


Рис. 4.4. Схема установки вентилятора главного проветривания:

a — конструктивная схема; $б$ — положение ляд при нормальной работе вентилятора; $в$ — положение ляд при реверсировании вентилятора; 1 — основной вентилятор; 2 — обводной канал; 3 — всасывающая будка; 4, 5 — лебедки; 6-8 — ляды; 9 — подводное колено; 10 — диффузор; 11 — резервный вентилятор

Схема установки с осевым вентилятором 1 дана на рис. 4.4. Для раскрытия сущности работы установки рисунок включает три позиции: конструктивную и две технологические, которые показывают только рабочий вентилятор 1.

Приспособления для реверсирования струи включают обводной канал 2, всасывающую будку 3, лебедки и ляды для перекрытия соответствующих каналов 4, 5, 6, 7, 8 (см. рис. 4.4, а). Для реверсирования, т. е. изменения движения воздуха с направления, показанного на рис. 4.4, б, на обратное, достаточно перекрыть подводящее колено 9 и диффузор 10 основного вентилятора лядами 6 и 7 и поднять ляду 8, открыв движение воздуха из атмосферы через вентиляционную установку в шахту, как показано на рис. 4.4, в. Аналогично происходит реверсирование резервного вентилятора 11.

Расположение каналов и ляд в установке с центробежным вентилятором отличается от расположения каналов на рис. 4.4 незначительно.

Потеря напора в вентиляционной установке складывается из потери давления в подводящем канале и диффузоре на выходе в атмосферу. Поэтому сооружению и эксплуатации канала и диффузора придают большое значение.

Канал вентилятора делают небольшой длины, без резких поворотов и с небольшим уклоном в сторону ствола для стока воды. Сечение канала прямоугольное, арочное или круглое; крепь — бетон, железобетон, кирпич и камень. Потери депрессии в канале не должны превышать 10—12 даПа, а сопротивление — не больше 0,5—2 μ (для большого сечения) и 5—10 μ (для среднего сечения).

Чаще применяются пирамидальные и реже конические диффузоры. Назначение диффузора — уменьшить скоростной напор и уносить бесполезно энергию при выходе вентиляционной струи из кожуха. Потери энергии могут достигать 30% и более от всей энергии, потребляемой вентилятором. Уменьшение скорости воздуха на выходе из диффузора достигается пропуском воздуха через диффузор определенной длины (сравнительно короткой) с определенным углом раскрытия θ . В практике принимают $\theta = 8-10^\circ$ и $S_{\text{вых}} : S_{\text{кож}} = 3:4$.

4.2. АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ИЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Для улучшения проветривания горных выработок применяют одновременно несколько вентиляторов, устанавливаемых по схемам, показанным на рис. 4.5. Теоретическое обоснование той или иной установки производится следующим образом.

Суммарная характеристика сети при последовательном соединении вентиляторов находится сложением разных

ординат при одинаковом Q и параллельном соединении — сложением абсцисс при одинаковом h .

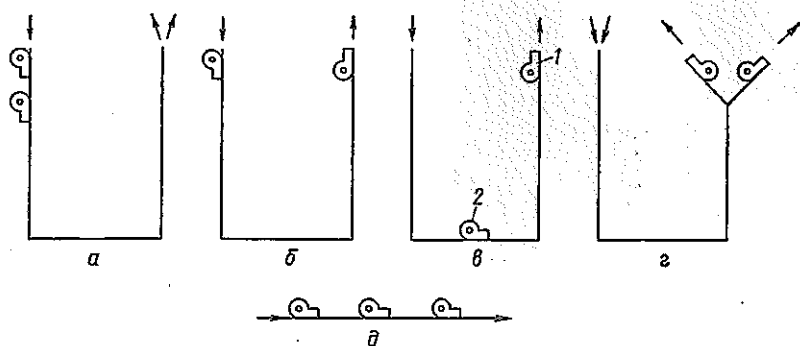


Рис. 4.5. Схемы установки в сети нескольких вентиляторов:

а — последовательная установка двух нагнетательных вентиляторов главного проветривания в начале подающего ствола; б — последовательная установка нагнетательного и всасывающего вентиляторов главного проветривания на разных стволах; в — последовательная установка двух вентиляторов: 1 — всасывающий на вентиляционном стволе; 2 — в шахте в выработке с общешахтной струей; г — параллельная установка двух вентиляторов главного проветривания на вентиляционном стволе; д — последовательная установка друг за другом трех БМП в подготовительной выработке

Произведем указанные действия для схем (см. рис. 4.5, а, г, рис. 4.6). Полученная кривая $ПС$ является суммарной характеристикой вентиляторов при их последовательной работе, а кривая $ПР$ — при параллельной работе. Кривые R_1 и R_2 являются характеристиками сети при разных сопротивлениях: так, R_1 соответствует сети с большим сопротивлением и R_2 — с малым. Точки 1 и 2 определяют режимы проветривания сети, соответственно, при последовательной и параллельной работе вентиляторов, точки 3 и 4 — режимы проветривания, соответственно, при параллельной работе вентиляторов на большое сопротивление и последовательной работе на малое сопротивление.

Анализ показывает, что последовательная работа вентиляторов целесообразна при больших значениях сопротивлений сети. Так Q и h в точке 1 больше аналогичных величин при индивидуальной (точки e_1 и e_2) и параллельной (точка 3) работе вентиляторов на сеть с данным сопротивлением, т. е. последовательная работа вентиляторов выгодна при нахождении точки 1 на кривой $ПС$ левее точки В, в которой депрессия меньшего вентилятора равна нулю (y_0). Характерно, что правее точки В при последовательном соединении работа меньшего вентилятора становится вредной, так как больший вентилятор может проталкивать часть воздуха через неработающий малый вентилятор. Эффект от последовательной ра-

боты вентиляторов при большом сопротивлении сети может составлять около 40%.

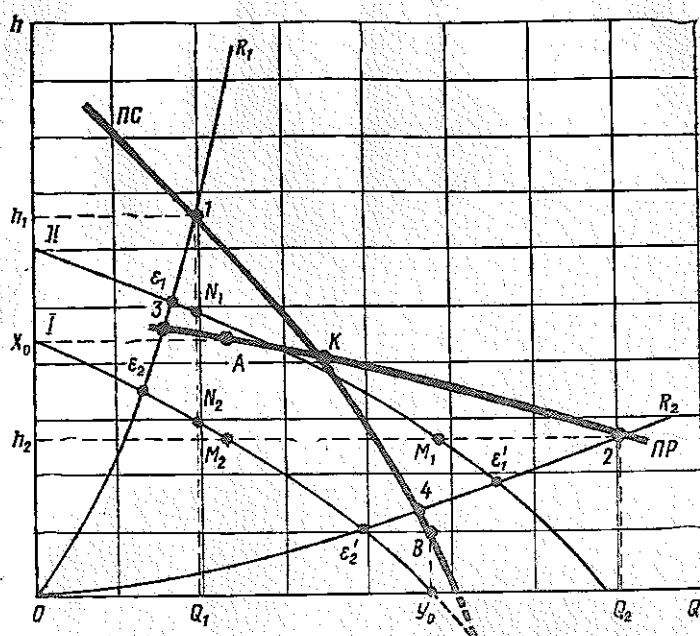


Рис. 4.6. Сравнительные характеристики одновременной последовательной и параллельной работы двух вентиляторов

Параллельная работа вентиляторов целесообразна при малых значениях R , так как Q и h в точке 2 больше аналогичных величин в точках ϵ'_1 , ϵ'_2 и 4, означающих, соответственно, режимы индивидуальной работы вентиляторов при параллельном соединении и режим последовательной работы вентиляторов при небольшом сопротивлении. Точнее, параллельная работа вентиляторов выгодна правее точки А, в которой дебит меньшего вентилятора X_0 равен нулю.

Область между точками А и В является переходной, а точка К вообще нейтральной, в которой и последовательная и параллельная работа вентиляторов одинаково эффективна.

В точке 3, означающей режим параллельной работы вентиляторов при большом сопротивлении, общий дебит сети меньше дебита большего вентилятора. Последний в этом случае будет пропускать через себя воздух шахты и засасывать часть воздуха через меньший вентилятор, хотя тот будет

вращаться в другую сторону, т. е. здесь работа меньшего вентилятора становится вредной.

Индивидуальные дебиты вентиляторов находятся при последовательной работе с помощью ординаты, проходящей через точку 1 (точки N_1 и N_2); при параллельной работе — с помощью абсциссы, проведенной через точку 2 (точки M_1 и M_2).

4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ПРОВЕТРИВАНИЯ В РАЗВЕТВЛЕННОЙ СЕТИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Для фланговой схемы проветривания шахты, показанной на рис. 4.7, требуется определить режим вентиляции в каждом из участков сети

$$\left. \begin{aligned} AC &= AB + BC \\ AD &= AB + BD \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

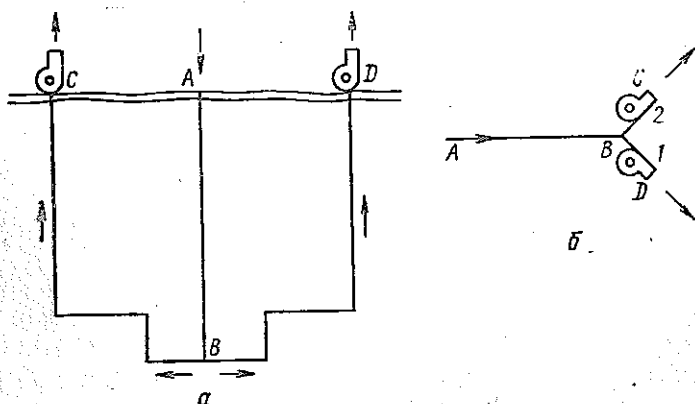


Рис. 4.7. Установка двух главных всасывающих вентиляторов на шахте при открытом параллельном соединении:

a — технологическая схема; b — схема вентиляционных струй

Решение задачи осуществляется графически с использованием метода суммарных приведенных характеристик источников тяги, заключающегося в том, что как последовательное, так и параллельное соединение выработок приводится к простейшему виду, при котором вентиляционная сеть состоит из одной ветви и источника тяги. Приведение состоит в по-

строении новой кривой путем исключения ординат при последовательном соединении и абсцисс — при параллельном.

Строим кривые вентиляторов 1 и 2 и сопротивлений участков сети AB , BD и BC (рис. 4.8). Далее строим приведенные к точке B характеристики вентиляторов, учитывая, что участки AB и BC к вентилятору 2, а также AB и BD к вентилятору 1 подсоединены последовательно.

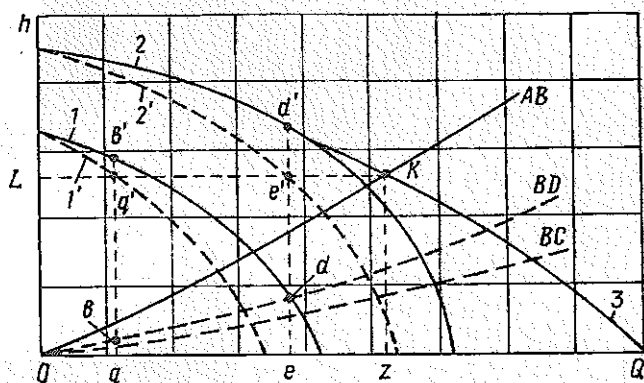


Рис. 4.8. Определение режима проветривания шахты при фланговой установке вентиляторов

Для кривой вентилятора 2 по вертикалям вычитаем ординаты участка BD . Например, ордината ed вычитается из ed' и получается точка e' приведенной кривой. То же делается для других произвольных сечений кривых 1 и 2. Получаем приведенные характеристики вентиляторов 1 и 2.

Эти приведенные характеристики отвечают схеме проветривания, показанной на рис. 4.7, б. Складывая приведенные характеристики по абсциссам, получим суммарную характеристику 3 и точку K пересечения ее с характеристикой участка AB . Координаты точки K определяют режим проветривания этого участка.

Дебиты вентиляторов находятся на абсциссе, проведенной через точку K , они равны, соответственно, L_q и L_c .

Потери напора вентиляторов находятся на ординатах, построенных в точках пересечения абсциссы LK и приведенных характеристик вентиляторов (точки q' и e'). Ординаты qq' и ee' равны ZK и равны потерям напора на общем участке AB . Части ординат $q'b'$ и $e'd'$ равны потерям напора, соответственно, на участках BD и BC , так как $q'b' = qb$ и $e'd' = ed$ по построению. Тогда точки b' и d' определяют депрессии вентиляторов 1 и 2.

Следовательно, вентиляторы 1 и 2 выбираются по сопротивлениям и количеству воздуха в ветвях AB , BC и BD . Можно решить так же иную задачу — найти характеристику одного из вентиляторов, если известны вентиляционные параметры участков и характеристика другого вентилятора.

4.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТЫ, ИМЕЮЩЕЙ УТЕЧКИ В УСТЬЕ СТВОЛА

Вентиляционная сеть с утечками в устье ствола называется неплотной, так как характеристика сети, на которую работает вентилятор, неодинакова с характеристикой шахты.

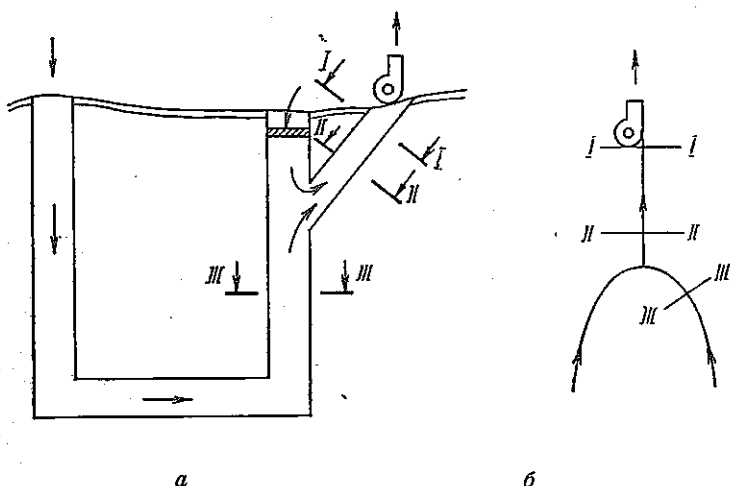


Рис. 4.9. Установка главного всасывающего вентилятора на вентиляционном стволе с утечками в устье:

a — технологическая схема; b — схема вентиляционных струй

Решение задачи, представленной на рис. 4.9, производится графически, как и в предыдущем примере методом приведенных характеристик источника тяги. На рис. 4.9 показано проветривание шахты с применением всасывающего вентилятора. В вентиляционном стволе герметизация устья условно заменена перемычкой.

Приведенную характеристику вентилятора строим последовательно от сечения $I—I$ к сечению $II-II$ и $III-III$ (рис. 4.9, a , b). Для этого из кривой I вычитаем по ординатам значение депрессии в канале вентилятора (кривая K) как при-
мыкающем последовательно к вентилятору (рис. 4.10). Полу-

чаем характеристику вентилятора, приведенную к сечению II—II (кривая II).

Дальнейшие расчеты связаны с определением приведенной характеристики вентилятора к сечению III—III, сечению вентиляционного ствола или просто устья вентиляционного ствола. Для этого из кривой II вычитаем по абсциссам значения дебитов в устье ствола (кривая y) как примыкающего параллельно к сечению II—II. Получаем характеристику вентилятора, приведенную к сечению III—III

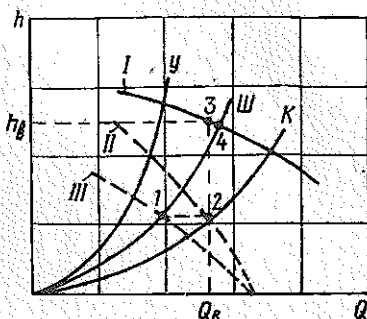


Рис. 4.10. Определение режима проветривания шахты, имеющей утечки в устье вентиляционного ствола

(кривая III), исключив тем самым из анализа подсос воздуха.

Параметры проветривания шахты определяют координаты точки 1 пересечения кривой характеристики шахты III с приведенной характеристикой вентилятора. Депрессию вентилятора h_v и Q_v находим обратным путем, т. е. сначала на кривой II — точку 2, для которой депрессия шахты и устья вентиляционного ствола равны (соединение параллельное, рис. 4.9, б), а затем точку 3 на кривой I из условия равенства количества воздуха в канале и в самом вентиляторе. Координаты точки 3 соответствуют Q_v и h_v .

Абсцисса 1—2 и ордината 2—3, соответственно, обозначают подсос воздуха в устье вентиляционного ствола и потерю напора в канале вентилятора. Меняя эти величины, можно регулировать и вентиляционные параметры шахты $Q_{ш}$ и $h_{ш}$.

4.5. АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРА И ЕСТЕСТВЕННОЙ ТЯГИ

Характеристика естественной тяги графически изображается прямой, параллельной оси абсцисс, т. е. $h_c = \text{const}$. Поэтому при построении характеристики вентилятора величина h^a суммируется или отнимается от h_n на всех режимах работы вентилятора.

Построим совместные графики для условий, когда естественная тяга помогает или препятствует работе вентилятора (рис. 4.11).

Депрессия шахты (случай *а*) $h_{ш} = h_b + h_e$ и $Q_{в+е}$ находятся в точке 1 на кривой II, полученной в результате суммирования. Напор вентилятора $h_{в+е}$ находится на ординате $Q_{в+е}$ в точке 2 пересечения ее с кривой I вентилятора.

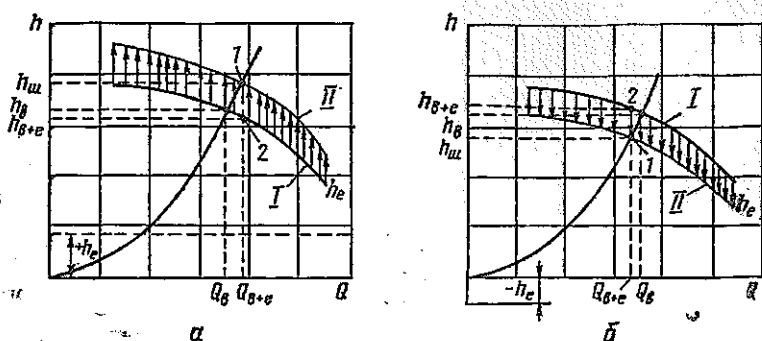


Рис. 4.11. Определение режима проветривания шахты при совместной работе вентиляторов и естественной тяги:

а — естественная тяга помогает работе вентилятора; *б* — естественная тяга препятствует работе вентилятора

Следовательно, при совпадении направлений вентиляционных струй действующая депрессия вентилятора $h_{в+е} < h_b$, т. е. естественная тяга помогает работе вентилятора. Если эта помощь характерна для всего года, то главный вентилятор для такой шахты следует выбирать по депрессии $h_b = h_{ш} - h_e$.

Депрессия шахты (случай *б*) $h_{ш} = h_b - h_e$ и $Q_{в+е}$ находятся в точке 1 на кривой II, полученной в результате разницы между h_b и h_e . Кривые характеристик вентилятора без естественной тяги и с ней, как в случае *а*, асимптотически приближаются друг к другу. Поэтому напор вентилятора $h_{в+е}$, как и в случае *а*, находится на ординате $Q_{в+е}$ в точке 2 кривой I вентилятора. Таким образом, при несовпадении струй вентилятора и естественной тяги действующая депрессия $h_{в+е} > h_b$, т. е. естественная тяга препятствует работе вентилятора. Если это происходит в какой-либо из периодов года, то главный вентилятор следует выбирать по депрессии $h_b = h_{ш} + h_e$.

4.6. РЕГУЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ ВЫРАБОТОК ШАХТЫ

Различают регулирование общешахтного количества воздуха и перераспределение воздуха между отдельными выработками.

Необходимость в регулировании общешахтного количества воздуха возникает при вводе новых горизонтов, изменении газообильности шахты, массовых взрывах и др. Перераспределение воздуха между выработками производится при проходке и нарезке новых выработок, дегазации, увеличении или уменьшении числа работающих людей и т. д.

4.6.1. Регулирование общешахтного количества воздуха

Полное сопротивление, на котором работает главный вентилятор,

$$R_{\text{полн}} = R_{\text{в.у}} + R_{\text{общ}}, \quad (4.7)$$

где $R_{\text{в.у}}$ — сопротивление вентиляторной установки;
 $R_{\text{общ}}$ — общее сопротивление сети подземных выработок и устья ствола, представляющих параллельное соединение, $R_{\text{общ}} = KR_{\text{ш}}$;
 K — коэффициент подсоса воздуха через устье;
 $R_{\text{ш}}$ — сопротивление шахты.

Тогда

$$R_{\text{полн}} = R_{\text{в.у}} + KR_{\text{ш}}. \quad (4.8)$$

В связи с этим регулирование общешахтного количества воздуха может быть произведено изменением числа оборотов вентилятора, угла установок лопаток рабочего колеса или направляющего аппарата, опусканием шиберов вентилятора, уменьшением подсоса, упразднением вентиляционных окон и дверей, раскреплением выработок и их очисткой, сокращением длины вентиляционных струй, делением струй на параллельные и т. д.

Выбор способа регулирования производится на основе экономической оценки условий проветривания.

Например, согласно схеме, показанной на рис. 4.12, увеличение $Q_{\text{в}}$ вентилятора с характеристикой в точке A может быть достигнуто либо путем увеличения числа оборотов вентилятора с n до n_2 , либо путем уменьшения полного сопротивления с R до R_2 , а уменьшение $Q_{\text{в}}$ — снижением числа оборотов или увеличением полного сопротивления. В области повышенных $Q_{\text{в}}$ более выгодным является уменьшение полного сопротивления, в области пониженных $Q_{\text{в}}$ — снижение числа оборотов вентилятора, так как при этом уменьшается депрессия вентиляторов.

Изменение полного сопротивления опусканием в канал вентилятора шиберов является неэкономичным способом, даже при увеличении КПД ведет к повышению потребляемой мощности вентилятора. Больший эффект дает изменение сопротивления сети выработок.

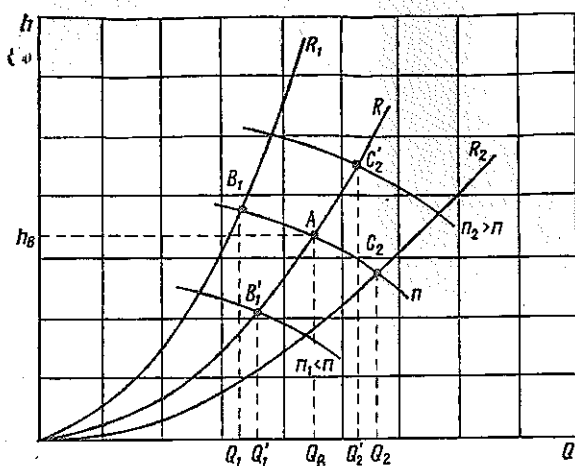


Рис. 4.12. Определение областей повышенных и пониженных дебитов вентилятора при изменении числа оборотов рабочего колеса и общего сопротивления сети

Новое число оборотов рабочего колеса рассчитывается, исходя из прямо пропорциональной и квадратичной зависимости от дебита и депрессии

$$n_2 = n_1 \frac{Q_2}{Q_1} \quad (4.9)$$

и

$$n_2 = n_1 \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}. \quad (4.10)$$

Увеличение Q за счет снижения сопротивления вентиляторной установки $R_{в.у.}$ и уменьшение подсосов производится с учетом нормальных значений

$$R_{в.у.} = a \frac{\pi}{D^4}, \quad (4.11)$$

где a — множитель, зависящий от типа вентилятора;

D — диаметр рабочего колеса.

При нормируемых утечках в надшахтном здании (10%) нормальное сопротивление устья $R_y = 100 R_{ш}$.

На схеме (рис. 4.13) показаны характеристики вентилятора, полного сопротивления сети, шахты, вентиляторной установки и надшахтного здания.

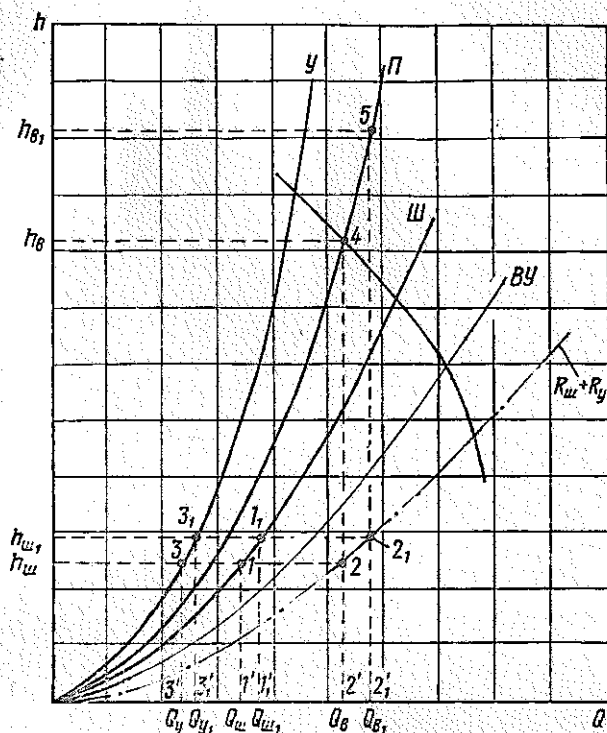


Рис. 4.13. Определение режима проветривания шахты (Ш) с учетом сопротивления вентиляторной установки (ВУ), устья вентиляционного ствола (У) и полного сопротивления сети (П)

Характеристику вентилятора строим по заводским данным, полного сопротивления сети — по данным замеров и расчетов $Q_{в}$ и $h_{в}$ или графически. Количество воздуха $Q_{в}$ находим по замеру в канале вентилятора, $h_{в}$ — с помощью ординаты, проведенной из точки 2' до пересечения с характеристикой вентилятора.

Построение характеристики полного сопротивления сети графическим методом может быть произведено на основе замечаний, приведенных на с. 103. Необходимые характеристики шахты Ш, устья У и вентиляторной установки ВУ находят на основе $Q_{ш}$ и $h_{ш}$, $Q_{у}$ и $h_{у.у.}$. Дебит шахты $Q_{ш}$ определяют по замерам в выработках шахты, депрессию шахты — по замеру в устье ствола, подсос воздуха из выражения — $Q_{у} = Q_{в} - Q_{ш}$ и депрессию вентиляторной установки — из $h_{в.у.} = h_{в} - h_{ш}$.

Допустим, что по условиям производства требуется при неизменном сопротивлении увеличить количество воздуха, проходящее по выработкам шахты с $Q_{ш}$ до $Q_{ш1}$. Необходимо установить новый режим работы вентилятора.

Старый режим работы вентилятора определяет точка 4, характеристику проветривания шахты — точка 1, утечки воздуха — абсцисса $h_{ш}$ — точка 3 или точки 1—2. Точка 2 характеризует в сумме режим проветривания шахты и утечки через устье, причем находят ее на пересечении абсциссы $h_{ш}$ — 1 с кривой суммарного сопротивления $R_{ш} + R_y$.

Новую депрессию шахты находим по ординате $2'_1—2_1$. Тогда утечки в устье ствола выразятся абсциссой $h_{ш}—3_1$, или $1_1—2_1$, что соответствует $Q_{у1}$. Следовательно, режим работы вентилятора должен находиться на продолжении ординаты $2'_1—2_1$ и пересечении ее с кривой полного сопротивления сети в точке 5, координатами которой будут $Q_{в1}$ и $h_{в1}$.

После подсчета нового числа оборотов можно построить характеристику вентилятора, проходящую через точку 5.

4.6.2. Перераспределение воздуха между выработками

Поступивший в шахту воздух распределяется между забоями и отдельными выработками естественно под действием главных вентиляторов и в соответствии с сечением выработок. Естественное распределение воздуха может не отвечать проектному, т. е. не удовлетворять потребности в нем участков и забоев. Например, на горизонте скреперования в зависимости от мощности рудного тела может одновременно находиться в работе несколько выработок, представляющих собой сложное диагональное соединение (рис. 4.14).

Как видно из рис. 4.14, а, в состав блока входят пять двусторонних штреков скреперования 1 с заходом воздуха посередине блока. Все выработки на время замеров были действующие, при этом исходящая струя по вентиляционной сбойке 2, гезенку 3 и орту 4 поступает из блока на вентиляционный горизонт.

Было произведено несколько замеров количества воздуха одновременно во всех штреках. На диаграмме (рис. 4.14, б) отдельные замеры представлены точками для левой и правой половин блока. Из рис. 4.14, б, видно, что фактическое распределение воздуха между штреками скреперования неравномерно — его больше у воздухоподающих гезенков 5 и меньше в средних выработках, что объясняется повышенной величиной местных сопротивлений и ступенчатой аэродинамической загруженностью вентиляционных ортов. Поэтому часть

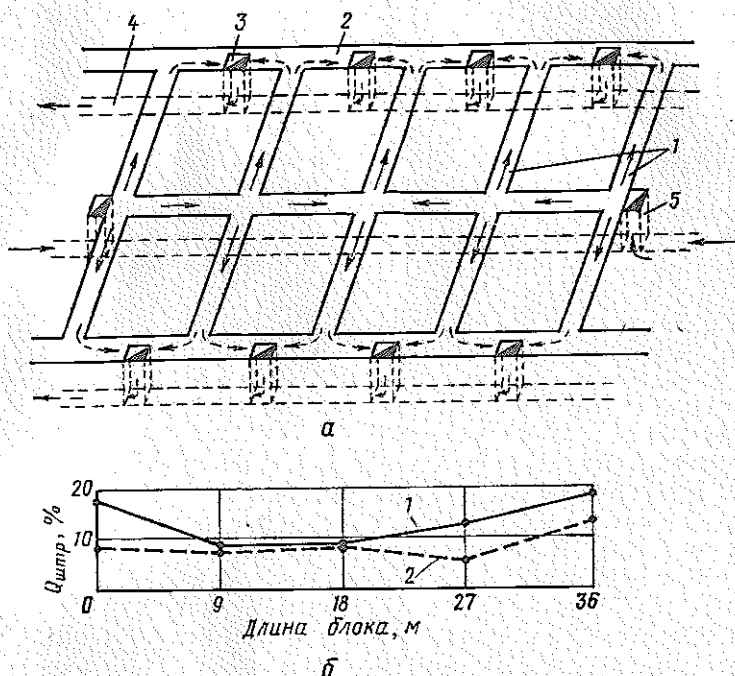


Рис. 4.14. Естественное распределение воздуха на горизонте грохочения:

а — технологическая схема: 1 — штреки скреперования правого крыла панели; 2 — вентиляционная сбойка правого крыла; 3 — вентиляционный гезенк; 4 — вентиляционный орт; 5 — ходовой воздухоподающий гезенк; *б* — схема распределения воздуха в панели по данным $Q_{штр}$ (%) на исходящей штреков скреперования: 1 — график значений количества воздуха в правом крыле панели; 2 — график значений количества воздуха в левом крыле панели

рабочих мест на горизонте скреперования может испытывать недостаток воздуха.

Все расчеты по управлению распределением воздуха основаны на свойствах различных вентиляционных соединений. Так, в параллельном соединении после искусственного изменения количества воздуха в одной из выработок добиваются равенства депрессий ветвей. В сложном соединении после требуемого воздухораспределения производят поконтурное выравнивание депрессий.

Перераспределение воздуха производят двумя основными способами: положительным и отрицательным регулированием. При *положительном регулировании* депрессию уменьшают за счет улучшения аэродинамических качеств выработки (уменьшают α или увеличивают сечение выработки). При *отрицательном регулировании* депрессию выработки, наоборот, увеличивают, что достигается установкой вентиляционного окна,

воздушной или водяной завес, жалюзи или устройством воздушного лабиринта, кармана и т. д. При этом количество воздуха в параллельной выработке увеличивается. Увеличение количества воздуха происходит неравномерно, т. е. не в том размере, на которое оно уменьшается. Происходит это из-за того, что при установке регуляторов нарушаются приведенные выше свойства параллельного соединения. По этой причине указанное регулирование называется отрицательным.

К прочим способам перераспределения воздуха относятся использование вспомогательных вентиляторов, устройств типа эжектора и др.

Автоматизация перераспределения воздуха предусматривает быстрое установление существующего расхода воздуха, сравнение его с нормальным; изменение q в нужную сторону и контроль. Выполнение указанных работ возможно с применением ЭВМ.

Перераспределение воздуха с помощью вентиляционного окна. Вентиляционные окна могут быть квадратными, прямоугольными и щелевидными, с регулируемым и нерегулируемым сечением. Делаются они в перемычке или в вентиляционной двери (рис. 4.15).

Вентиляционное окно с изменяемым сечением в простейшем виде представляет собой раму с различным количеством наби-

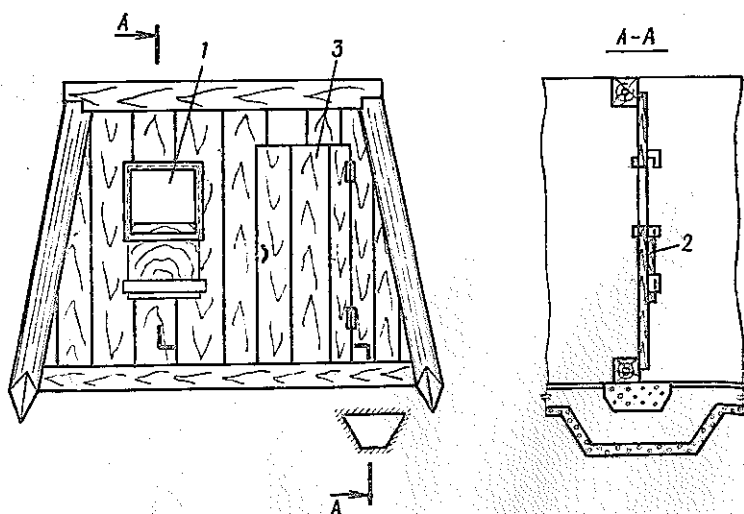


Рис. 4.15. Конструкция вентиляционного окна с изменяемым сечением, вделанного в вентиляционную дверь:

1 — окно; 2 — задвижка окна; 3 — вентиляционная дверь

ваемых досок. С целью автоматизации изменения сечения применяют окна с гибкой шторкой, которая, опускаясь, прикрывает окно, а поднимаясь, приоткрывает его. В действие шторка приводится аналогично киноэкрану с помощью двигателя с осью, сматывающего или разматывающего шторку. Вентиляционное окно увеличивает сопротивление, поэтому в данной выработке уменьшается количество проходящего воздуха q_1 , но увеличивается q_2 в параллельной выработке

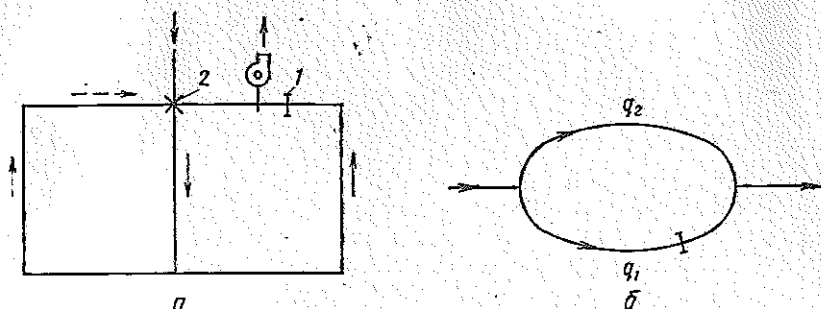


Рис. 4.16. Установка вентиляционного окна в выработке с общешахтной струей:

a — технологическая схема шахты с наклонным стволом; 1 — дверь с коном; 2 — кроссинг; $б$ — схема вентиляционных струй

(рис. 4.16). Окна устанавливаются также в сложных соединениях.

Вентиляционное окно с изменяемым сечением может иметь привод и использоваться в качестве автоматического регулятора.

Сечение стационарного вентиляционного окна (рис. 4.17) определяют на основе потери напора воздуха из-за местного сопротивления

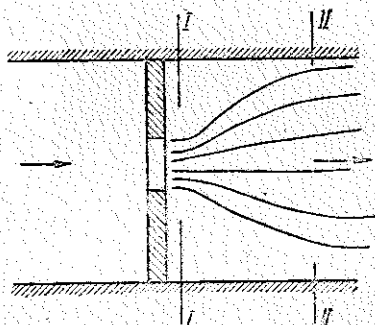


Рис. 4.17. Расчетная схема определения площади вентиляционного окна

$$h_{ок} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \cdot \gamma, \quad (4.12)$$

где V_1 — средняя скорость воздуха в самом узком сечении струи $I-I$,

$$V_1 = \frac{Q}{0,65 \cdot S_{ок}}; \quad (4.13)$$

V_2 — средняя скорость воздуха в выработке вне места сужения струи из-за окна в сечении $II-II$,

$$V_2 = \frac{Q}{S_{\text{выр}}} \quad (4.14)$$

Подставив в (4.12) значения скоростей воздуха, получим для $S_{\text{ок}}/S_{\text{выр}} \leq 0,5$

$$S_{\text{ок}} = \frac{S_{\text{выр}} Q}{0,65 Q + 2,63 S_{\text{выр}} \sqrt{h_{\text{ок}}}} \quad (4.15)$$

Для $S_{\text{ок}}/S_{\text{выр}} \geq 0,5$, если коэффициент расхода воздуха меняется в пределах 0,65—1:

$$S_{\text{ок}} = \frac{S_{\text{выр}} Q}{Q + 2,38 S_{\text{выр}} \sqrt{h_{\text{ок}}}} \quad (4.16)$$

Регулирующие органы жалюзийного типа применяют в выработках с ограниченным движением транспорта и людей. Наивыгоднейшее место для их установки — кроссинги. Жалюзи могут работать автоматически. Регулирование количества воздуха производится за счет уменьшения сечения для прохождения воздуха при повороте жалюзи и увеличения сопротивления из-за дополнительного вихреобразования, сужения струй и изменения направления движения воздуха.

На рис. 4.18 показаны различные виды жалюзи, устанавливаемые в бестранспортных выработках. Жалюзи с дополнительной лопастью (рис. 4.18, б) позволяют получить линейное изменение расхода воздуха в зависимости от угла поворота створки. Это дает возможность использовать для регулирования простые приводы. К последним относятся электрические, механические и комбинированные, например электрогидравлические приводы с вмонтированными датчиками для определения количества воздуха.

Проходное сечение между створками жалюзи с дополнительными лопастями

$$S_{\text{ж}} = \frac{1}{n} S_{\text{от}} (1 - \sin \beta + \cos \beta), \quad (4.17)$$

где $S_{\text{от}}$ — проходное сечение при полностью открытых створках;

β — угол поворота створки, град;

n — число створок жалюзи, шт.

Из формулы (4.17) видно, что проходное сечение обратно пропорционально числу створок.

Жалюзи типа а, б, в сужают воздушную струю и меняют направления ее движения, вызывая сильные завихрения. Жалюзи типа г и д создают дополнительные турбулентные потоки в карманах и у стенок лабиринта.

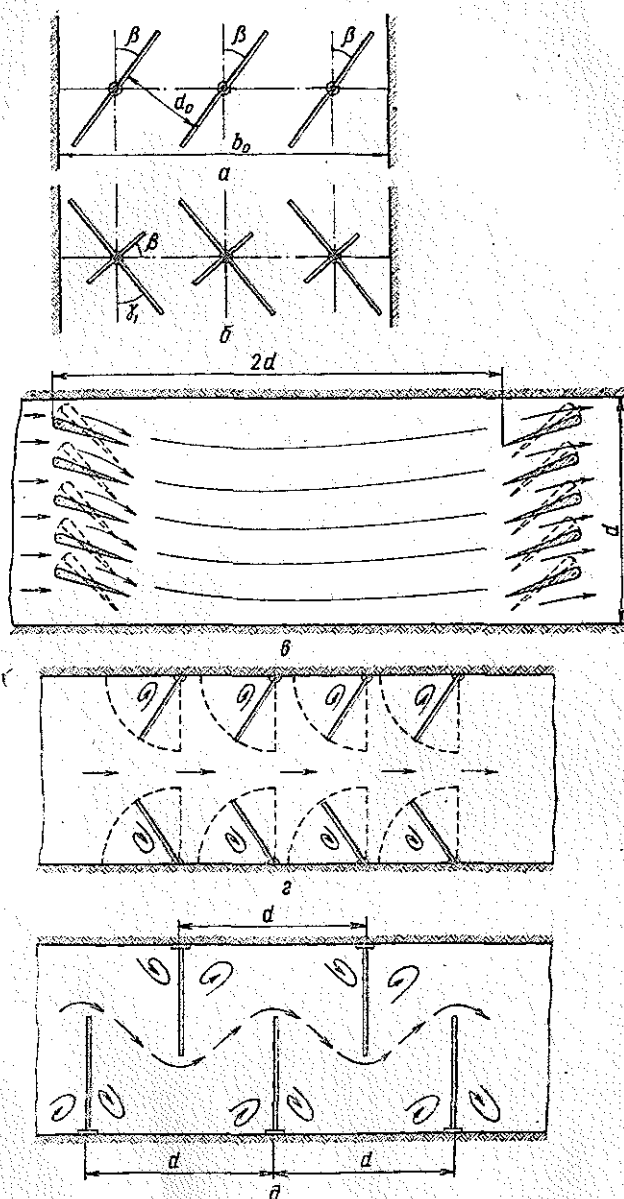


Рис. 4.18. Виды жалюзи, применяемые для регулирования количества воздуха:

a — простые жалюзи; *б* — жалюзи с дополнительной лопастью; *в* — жалюзи с крылевидной лопастью; *г* — жалюзи типа «воздушный карман»; *д* — жалюзи типа «воздушный лабиринт»

Необходимо отметить еще одно положительное качество жалюзи, заключающееся в их пригодности для инерционного осаждения пыли. При хорошем орошении частицы пыли ударяются о створку и задерживаются около жалюзи. Предусмотрен сбор осевшей пыли.

Перераспределение воздуха с помощью завес. Завесы — воздушные или водяные — искусственно создаваемые в поперечном сечении выработки потоки с целью уменьшения дебита воздуха. Могут быть одно- и двусторонние, встречные и путные, а также сопряженные и несопряженные завесы (рис. 4.19).

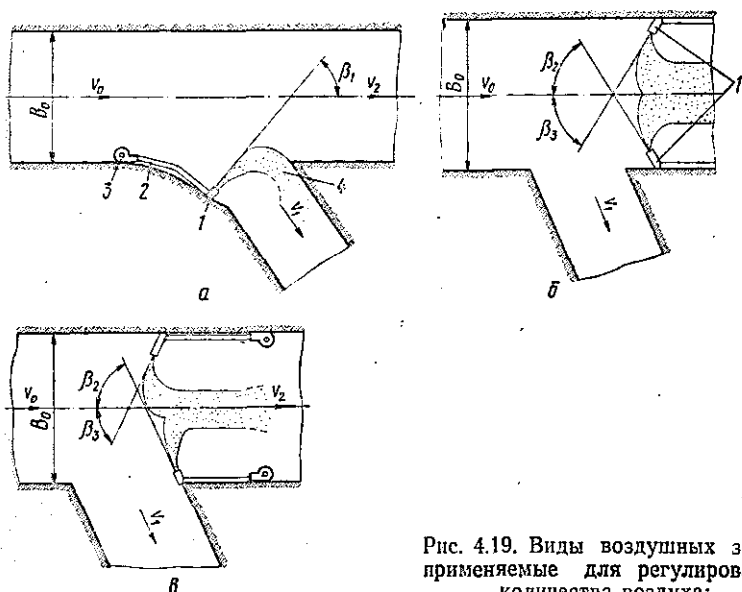


Рис. 4.19. Виды воздушных завес, применяемые для регулирования количества воздуха:

а — путная односторонняя; *б* — встречная двусторонняя; *в* — встречная двусторонняя несопряженная: 1 — воздухоподогревающее устройство; 2 — трубопровод; 3 — вентилятор; 4 — завеса

Эффективность действия завесы зависит от угла β между осями завесы и выработки. При путной завесе угол β_1 уменьшается, при встречной — увеличивается. На встречную завесу оказывают большое влияние скорость воздуха в выработке, ширина выработки и начальная кинетическая энергия потока завесы.

Встречная завеса будет действовать, если ее начальная скорость больше скорости вентиляционной струи. Увеличение кинетической энергии потока может быть достигнуто распылением в нем воды. Вода способствует также пылеподавлению

и резко сокращает расход воздуха (1% воды на 20—30% воздуха уменьшает воздушный дебит завесы).

Плотность воздуха в параллельных струях примерно одинакова, поэтому расход воздуха в завесе

$$Q_{ззв} = Q_0 \frac{Q_I}{Q_{II}} \sqrt{\frac{b_0 \eta b}{B_0 a}}, \quad (4.18)$$

где Q_0 — количество воздуха, проходящее по неразветвленной выработке;

Q_I и Q_{II} — соответственно, количество воздуха в перекрываемой завесой выработке и параллельной ей до включения вентилятора завесы;

B_0 и b_0 — соответственно, ширина выработки и суммарная ширина щелей, раздающих в завесе воздух (по высоте завеса должна быть равна высоте выработки);

η — коэффициент полезного действия завесы,

$$\eta = \frac{Q_I - Q'_I}{Q_I}; \quad (4.19)$$

Q'_I — количество воздуха, протекающее в перекрываемой ветви после включения в работу завесы;

a и b — опытные коэффициенты.

Депрессия вентилятора завесы

$$h_b = h_{тр} + h_{м.с}, \quad (4.20)$$

где $h_{тр}$ — потери напора воздушного потока завесы в трубопроводе;

$h_{м.с}$ — потери напора на местные сопротивления в завесе: повороты в трубопроводе и раздающем устройстве, выход воздуха из щели.

Один из видов водяных завес показан на рис. 4.20. Трубы 1, 2 и 3 армированы жесткоприкрепленными по периметру выработки форсунками. Рабочая поверхность форсунки находится в плоскости, совпадающей с поперечным сечением выработки. Трубы могут поворачиваться в разные стороны на 45—50°. Завеса тройная, так как на расстоянии трех диаметров выработки расположены три трубы. Тройная завеса надежнее в работе и позволяет избежать нарушений аэродинамического режима при частичных отключениях труб во время прохода транспорта или людей.

Воздушные и водяные завесы при встречном действии являются отрицательными регулирующими органами, при попутном — положительными, так как благодаря эжектирующему действию увеличивают дебит воздуха в выработке.

Завесы не загромождают выработки и не препятствуют работе транспорта, управление ими легко поддается автоматизации.

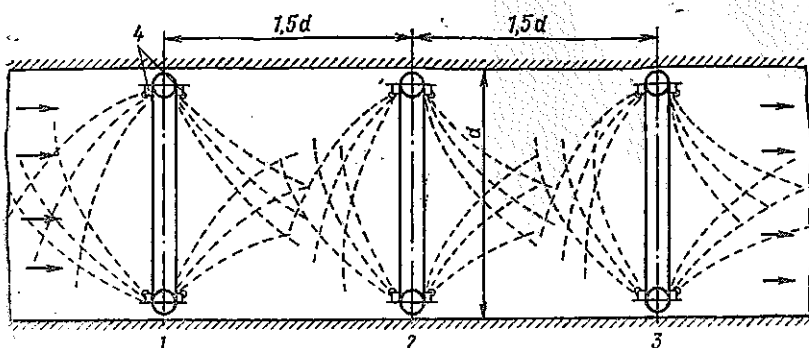


Рис. 4.20. Тройная водяная завеса для регулирования количества воздуха:
1, 2, 3 — трубопроводы с водой; 4 — форсунки; d — высота выработки

Несмотря на то что в завесах расходуется много сжатого воздуха и воды, они как регуляторы применяются широко.

Перераспределение воздуха с помощью вспомогательных вентиляторов. Схема установки вентилятора показана на рис. 4.21.

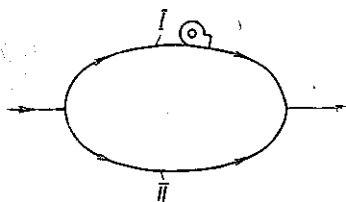


Рис. 4.21. Схема вентиляционных струй при установке ВМП с целью регулирования количества воздуха:

I, II — ветви соединения

Расчет вспомогательного вентилятора сводится к определению требуемого расхода воздуха в выработке с вентилятором и депрессии. Например, в параллельном соединении (см. рис. 4.21) $h_I = h_{II} = 25$ даПа, Q_I и Q_{II} , соответственно, 3,5 и 1,75 м³/с. В ветви I требуется увеличить Q до 5 м³/с. При этом по расчету h_I' составит 35 даПа. Уравнивание депрессии производится с помощью установки вспомогательного вентилятора.

Подобные задачи в вентиляции шахт приходится решать довольно часто, особенно во время подготовительных и нарезных работ.

Величину снижения h , равную депрессии вентилятора, устанавливают как разницу между h'_1 и h_1 . Проверка производится по уравнению $\Sigma(h) - h_b = 0$. Согласно направлению движения воздуха имеем

$$35 + (-25) - 10 = 0.$$

Следовательно, выбор вентилятора произведен правильно.

Для того чтобы вспомогательный вентилятор, устанавливаемый без перемычки, работал эффективнее, он снабжается коллектором и конфузуром (трубопровод с сужающимся концом на выходе вентилятора).

Напор, создаваемый таким вентилятором, невелик, так как является результатом разности скоростного давления и потерь на местное сопротивление на выходе вентилятора

$$h = 0,061 \left[V_1^2 - (V_1 - V_2)^2 \right]^2 \frac{Q_v}{Q_{\text{выр}}}, \quad (4.21)$$

где V_1 и V_2 — скорость воздуха, соответственно, на выходе из вентилятора и в выработке.

Дебит Q_v должен быть не больше 0,7 дебита Q выработки, чтобы не было рециркуляции воздуха около вентилятора.

Вентиляторы без перемычки находят применение в рудных шахтах для интенсификации проветривания выработок горизонта скреперования.

Если фактическое сопротивление сети R меньше сопротивления вентилятора

$$R_b = \frac{0,122}{S} \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S_b} \right), \quad (4.22)$$

где S и S_b — соответственно, сечение выработки и выходного отверстия вентилятора,

то установка вентилятора без перемычки целесообразнее, чем с перемычкой.

Регулирование количества воздуха с помощью вентиляторов обладает рядом недостатков: появляется возможность загромождения участка и самовозгорания полезного ископаемого из-за разрежения на всасе и рециркуляционных потоков, нарушается вентиляция из-за возможного выхода вентилятора из строя и др. Это ограничивает их применение и допускается к работе после специального разрешения.

Перераспределение воздуха с помощью устройства типа эжектора. Как видно из рис. 4.22, за счет конфузора в сечении II—II увеличивается скорость движения воздуха, а значит, и количество воздуха q_2 . В целом увеличение q_2 происходит благодаря скоростному давлению (точнее подсосу).

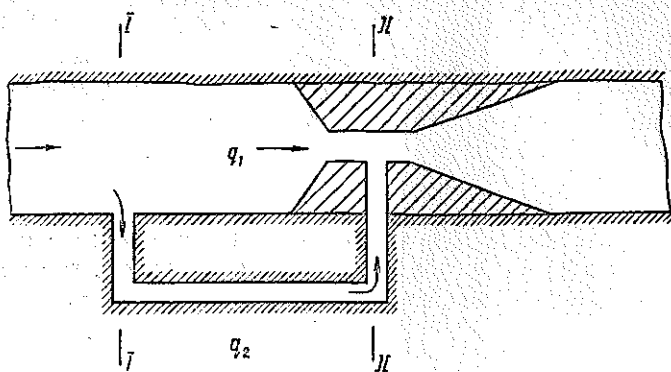


Рис. 4.22. Установка в параллельной выработке устройства типа «эжектор» для регулирования количества воздуха

4.7. УТЕЧКИ ВОЗДУХА В ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЯХ, ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

4.7.1. Коэффициент утечек воздуха

Непроизводительные расходы воздуха подразделяют на утечки в атмосферу и исходящую струю.

Утечки в атмосферу: подсосы, притечки, оттечки и другие происходят между поверхностью и вентиляционной струей через щели в надшахтных (или надустьевых) сооружениях или через трещины в земной коре. Количество утечек в атмосферу зависит от герметичности надшахтных сооружений и толщины наносов над обрушенными зонами пород.

Утечки в исходящую струю происходят через неплотности вентиляционных сооружений в шахте, разделяющих входящую и выходящую из забоев струи. Размер утечки в исходящую струю зависит от качества вентиляционных труб, дверей, перемычек бутовых полос, кроссингов и т. д.

В целом утечки воздуха при проветривании могут достигать 50% и более. Они наносят большой вред: вызывают воздушное голодание в забоях, так как утекаемый воздух минует основные рабочие места. Утечки ухудшают условия работы, повышают запыленность рудничной атмосферы и увеличивают время на проветривание выработок после взрывных работ. Значительно возрастает опасность скопления метана и взрыва. Кроме этого, утечки увеличивают расход электроэнер-

гии на непроизводительную работу вентиляторов. При самовозгорающихся полезных ископаемых утечки воздуха могут вызвать появление очага рудничного пожара.

При утечках сохраняется квадратичная зависимость основного закона сопротивления $h=RQ^x$, если они происходят через перемычки, неуплотнившийся слой обрушенных пород и крупнокусковатую закладку. Ламинарный режим движения воздуха характерен для утечек через выработанное пространство с хорошо уплотненными породами, а промежуточный режим — для утечек через бункеры с кусковатым материалом.

Для оценки количества утекаемого воздуха используют процент и коэффициент утечек. Процент утечек

$$P = \frac{Q_{\text{ут}}}{Q} \cdot 100, \%, \quad (4.23)$$

где $Q_{\text{ут}}$ и Q — утекаемое и общее количество воздуха, соответственно.

Коэффициент утечек воздуха через надшахтное здание и вентиляторную установку составляет $K_0=1,1-1,3$. Через подземные вентиляционные сооружения и выработанные пространства

$$K_0 = 1 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4, \quad (4.24)$$

где K_1 — коэффициент утечек воздуха через перемычки, двери и окна; при распределении воздуха между несколькими очистными участками (блоками) K_1 составляет: при числе участков 1—4 — 0,15; 5—10 — 0,2; более 10 — 0,3;

K_2 — коэффициент утечек воздуха через вентиляционные сооружения при одновременном проветривании нескольких горизонтов, этажей, ярусов, $K_2=0,1$ при двух и $K_2=0,15$ при трех горизонтах;

K_3 — коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство между откаточными и вентиляционными выработками, $K_3=0,05-0,35$ для угольных шахт;

K_4 — коэффициент утечек воздуха в атмосферу через трещины и обрушенные породы, $K_4=0,2-0,4$ для рудных шахт.

Приведенные коэффициенты характеризуют воздухопроницаемость вентиляционных сооружений и участков. Они используются при проектировании вентиляции.

4.7.2. Регулирование утечками

Уменьшение утечек через трещины и выработанное пространство в атмосферу эффективно осуществляется при направ-

ленном снижении сопротивления выработок, учитывающем систему проветривания. Так, при нагнетательном проветривании большой перепад давления между атмосферой и выработками имеется на откаточном горизонте, поэтому при наличии большого сопротивления выработок на вентиляционном горизонте возможна отечка воздуха в атмосферу, как показано на рис. 4.23,а.

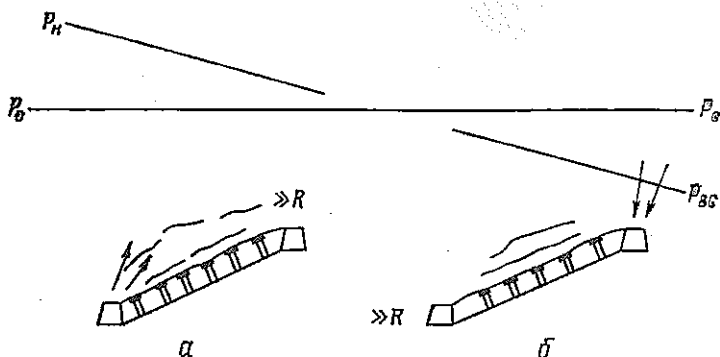


Рис. 4.23. Регулирование утечками воздуха с помощью направленного снижения сопротивления выработок:

а — на вентиляционном горизонте при нагнетательном проветривании; б — на откаточном горизонте при всасывающем проветривании

Из рис. 4.23,б видно, что при всасывающем проветривании большое сопротивление выработок откаточного горизонта может привести к притечке воздуха из атмосферы в выработки вентиляционного горизонта.

Воздушная связь с атмосферой через трещины и выработанное пространство будет меньше при нагнетательно-всасывающем проветривании, т. е. при минимальном перепаде давления.

В газообильных шахтах в некоторых случаях утечки воздуха между горизонтами и притечки его в вентиляционные выработки становятся полезными с точки зрения уменьшения концентрации метана.

4.7.3. Воздухонепроницаемость вентиляционных сооружений

Герметичность вентиляционных сооружений характеризуется коэффициентом воздухонепроницаемости $K_{\text{он}}$, который является величиной, обратной аэродинамическому сопротивле-

нию какого-либо материала в форме призмы с сечением 1 м^2 и длиной 1 м . Тогда для турбулентного движения

$$K_{\text{вн}} = \frac{l}{\gamma} = \frac{V^2 l}{h}, \quad \frac{\text{м}^5}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}}, \quad (4.25)$$

где γ — аэродинамическое сопротивление призмы материала;
 l — общая длина материала, м.

Коэффициент воздухопроницаемости находится опытным путем.

Герметичность устья вентиляционного ствола зависит от уменьшения подсоса воздуха через него вентилятором, установленным в подводящем канале. В стволе без подъема подсос уменьшают с помощью глухого полка (рис. 4.24).

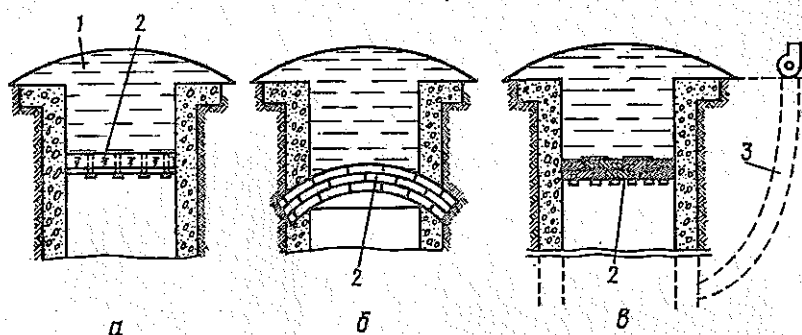


Рис. 4.24. Герметизация устья вентиляционного ствола с помощью:
 а — железобетонного полка; б — арочного полка из бетонов; в — деревянного полка: 1 — герметизирующий материал; 2 — полки; 3 — отводящий канал

Для того чтобы глухие полки не разрушались при авариях в шахте, что может привести к нарушению вентиляции, в канале вентилятора устанавливают клапан, открывающийся в атмосферу при повышении давления.

При тщательном выполнении устья ствола утечки воздуха через глухие полки составляют менее 6—8%.

В стволе с подъемом герметизируется надшахтное здание. При всасывающем проветривании герметизируется вентиляционный ствол, при нагнетательном — подающий. От атмосферы изолируется все здание или часть его или ограничиваются только устройством надустьевого клапана.

Частичная герметизация здания подающего ствола с клетьевым подъемом и нагнетательным вентилятором показана на рис. 4.25. Надствольная часть здания сплошная, она vyplнена из толстых непроницаемых стен с двойными (или даже тройными) оконными рамами. Место разгрузки клетей сде-

лено в виде вертикального клапана. Проход людей и пропуск оборудования из изолированной части здания в неизолированную производится через шлюзы.

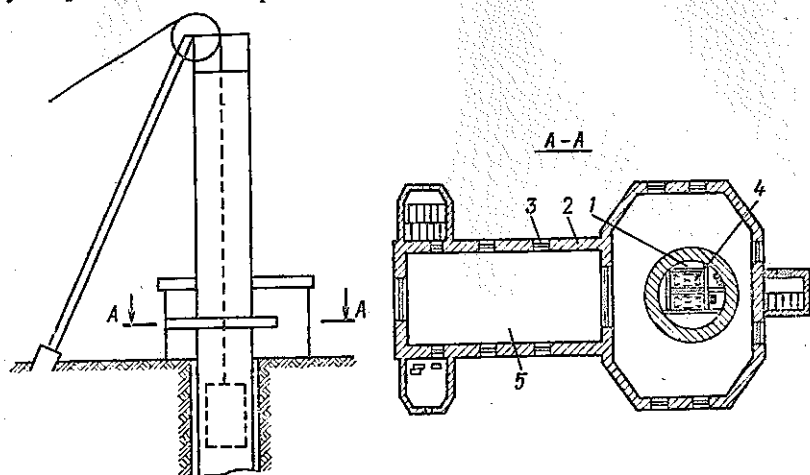


Рис. 4.25. Конструктивные элементы герметизации надшахтного здания клетового ствола:

1 — ствол; 2 — пояс герметизации; 3 — оконные проемы для тройных рам; 4 — клеть; 5 — калориферная

Для полезного ископаемого иногда вместо шлюзов устраивают герметичный опрокид или бункер, в котором роль изолятора играет слой постоянно невыпускаемого полезного ископаемого.

Надустьевый вентиляционный клапан сделан следующим образом: под приемной площадкой 1 устраивают колодец 2, который прикрывают сверху большим 3 и малым 4 клапанами (рис. 4.26). Колодец несколько опущен в устье 5. Между колодцем и сосудом зазоры минимальные.

Клеть, подойдя к уровню приемной площадки верхним прицепным устройством 6, последовательно откроет малый и большой клапаны и, садясь на кулаки, перекроет колодец своей нижней частью. Следовательно, в момент выхода из клетки люди находятся в зоне с атмосферным давлением. Во время переподъема клетки колодец закроет фартук 7. При опускании клетки в ствол клапаны ложатся на место под собственным весом.

Утечка воздуха через неплотности в обшивке надшахтных зданий

$$Q_{yt} = 2,63 S_{ш} \sqrt{h_{ш}}, \quad (4.26)$$

где $S_{ш}$ и $h_{ш}$ — соответственно, сечение щели и потери напора при прохождении воздуха через нее.

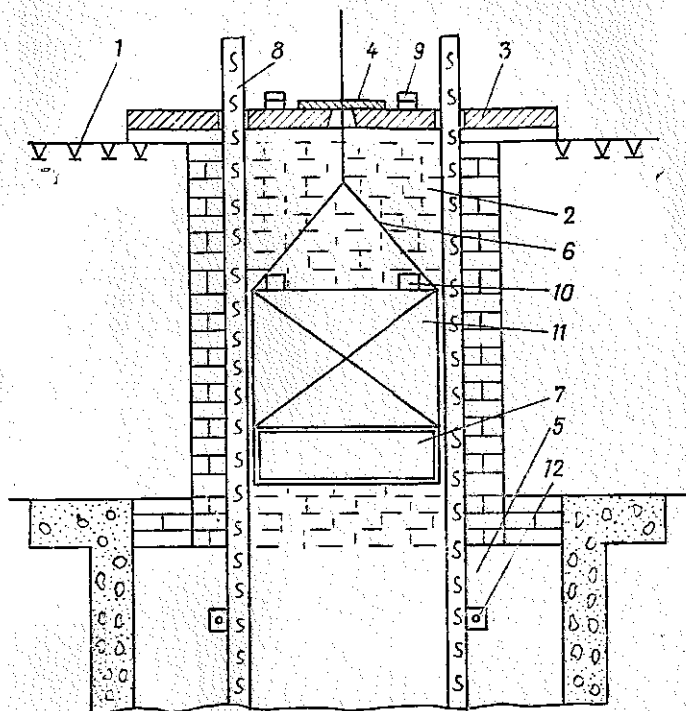


Рис. 4.26. Герметизация устья клетового ствола:

1 — приемная площадка; 2 — колодец; 3 — большой клапан; 4 — малый клапан; 5 — устье ствола; 6 — верхнее прищепное устройство; 7 — фартук; 8 — направляющие клетки; 9 — амортизатор; 10 — стержень; 11 — клеть; 12 — расстрел

Так как движение утекаемого воздуха связано с путями, имеющими небольшое сопротивление, процент утечек прямо пропорционален отношению сопротивления шахты к сопротивлению надшахтного здания. Чем больше сопротивление шахты (или чем меньше эквивалентное отверстие), тем лучше должна быть проведена герметизация надшахтных (или надустьевых) сооружений, т. е. увеличено сопротивление последних.

Работа вентилятора с утечками в устье, как показано выше, называется работой на неплотную сеть (см. рис. 4.9 и 4.10). Для определения характеристики вентилятора были построены графики зависимости h от Q в различных сечениях исходящей струи.

Из рис. 4.10 видно, что точка 1 характеризует режим проветривания шахты (сечение III—III). Точка 2 — режим проветривания канала и точка 3 — фактический режим работы

вентилятора. Последний является большим, пока утечки не перейдут правее точки 4, что практически невозможно. Сами утечки по оси абсцисс равны 1—2.

Кривая У используется при расчете сечения ствола ниже герметизации.

Большое внимание уделяется герметичности вентиляционных перемычек. По конструкции перемычки могут быть временными, долговременными и воздухонепроницаемыми. Временные и воздухонепроницаемые перемычки легкие, возводятся в относительно короткий промежуток времени. Долговременные перемычки прочные и устойчивые, могут противостоять большому давлению воздуха и воды.

Герметичность вентиляционных перемычек очень важна в связи с широким их назначением: изоляция свежей и исхо-

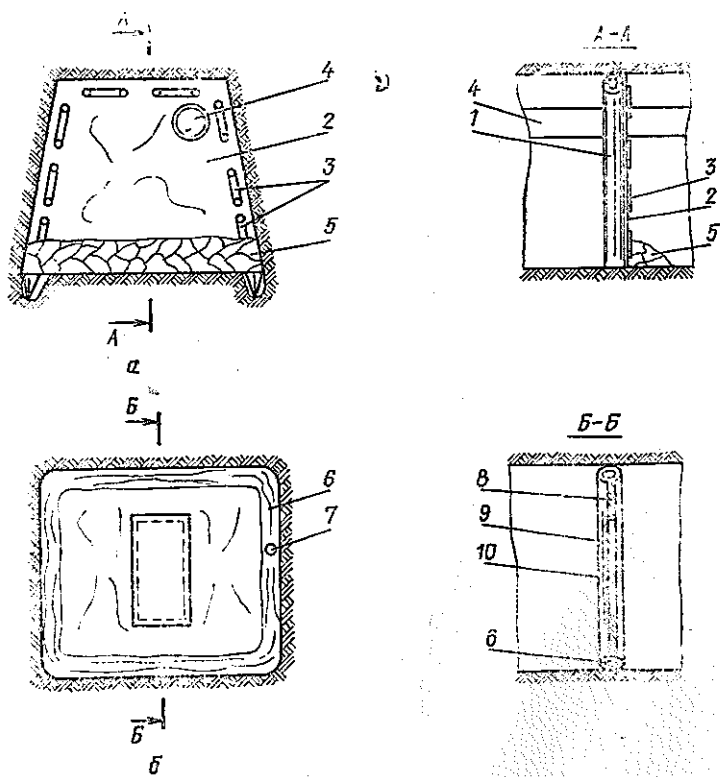


Рис. 4.27. Парусиновые изолирующие перемычки:

а — простая; б — надувная; 1 — рама крепи; 2 — полотнища; 3 — крепеж полотнища к стойкам; 4 — трубопровод; 5 — присылка низа перемычки пустой породой; 6 — надувной баллон; 7 — ниппель; 8 — тонкая гибкая стенка надувной перемычки; 9 — дверной проем; 10 — вентиляционная дверь

дящей струй выработанного пространства, перераспределение воздуха, ограждение и изоляция очага пожара и др.

Возведение перемычек планируется заблаговременно: выбираются место и материал, доставляется в шахту оборудование.

Конструкции перемычек многочисленны. Основные из них показаны на рис. 4.27—4.31. Наибольшее распространение получили парусиновые (простые и надувные), деревянные (дощатые и чураковые), кирпичные, бетонные и шлакобетонные перемычки.

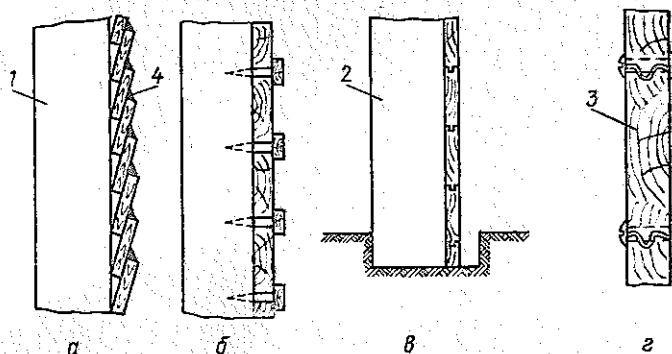


Рис. 4.28. Соединение досок в одинарной дощатой перемычке:

а — внахлестку; *б* — на шурупах; *в* — шпунтовые; *г* — шпунтовые на болтах; 1 — стойка; 2 — стойка перемычки с врубом; 3 — готовый блок дощатой перемычки; 4 — замаска

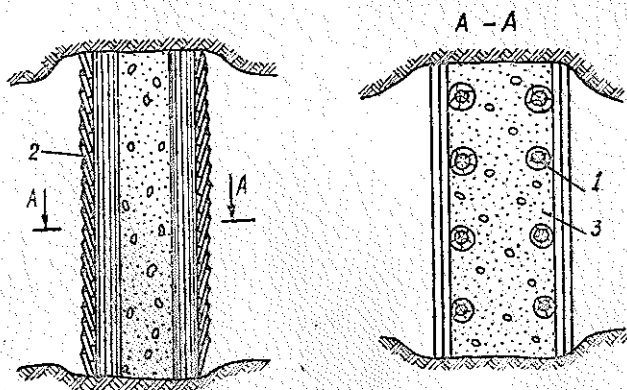


Рис. 4.29. Двойная дощатая перемычка:

1 — стойка; 2 — обшивка стоек досками внахлестку; 3 — бетонный наполнитель

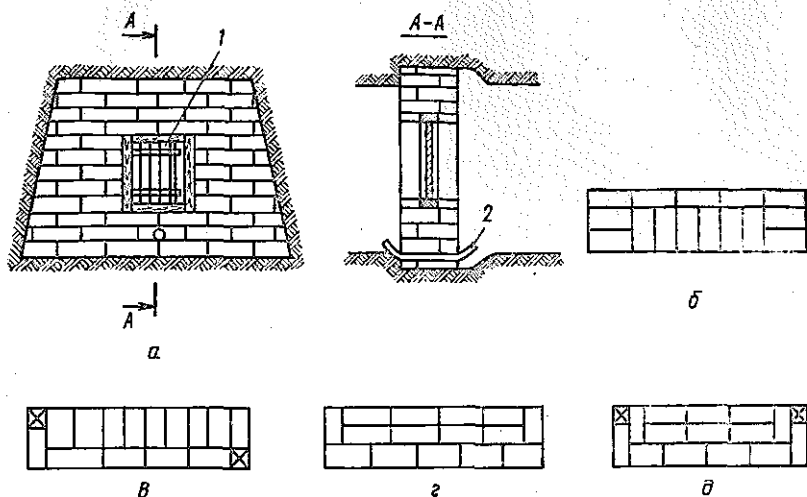


Рис. 4.30. Кирпичная перемычка:

a — общий вид; *б, в, г, д* — порядок укладки кирпичей по рядам; 1 — лаз; 2 — труба для перепуска воды

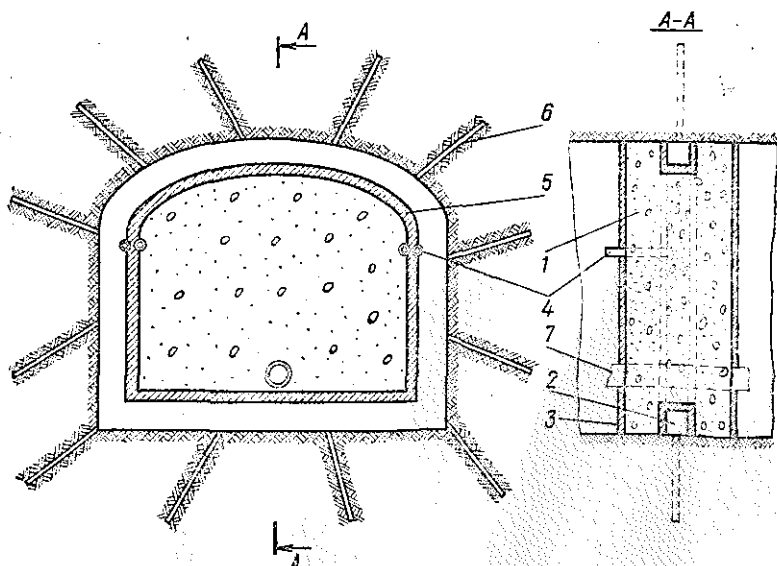


Рис. 4.31. Бетонная безрубчатая перемычка:

1 — бетон; 2 — желоб для загнетания цемента в скважины; 3 — внешняя опалубка; 4 — входной штуцер для подачи цемента; 5 — дно желоба; 6 — скважина; 7 — трубопровод

Утечки воздуха через перемычку

$$Q_{\text{ут}} = K_{\text{п}} P \sqrt{\frac{h}{b}}, \quad (4.27)$$

где $K_{\text{п}}$ — коэффициент воздухопроницаемости перемычки; количество воздуха, просачивающееся через 1 м периметра (P) перемычки **толщиной** (b) 1 м при депрессии 1 даПа; значения $K_{\text{п}}$ приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Вид перемычки	$K_{\text{п}} \cdot 10^{-5}$ в ненарушенных целых при боковых породах	
	монолитные	трещиноватые
Чураковая	260	430
Кирпичная	120	215
Шлако- и бутобетонная	90	165

Из табл. 4.1 видно, что наименее воздухопроницаемы шлако- и бутобетонные перемычки.

Фактические утечки воздуха через хорошо выполненные перемычки составляют 10—20 м³/мин при перепаде давления около 100 даПа и 2—6 м³/мин при —10—30 даПа. Допустимые значения утечек через перемычки приведены в табл. 4.2 и фактические — в табл. 4.3.

Таблица 4.2

Перемычка	Норма утечек, м³/мин при площади перемычки м²				
	2	4	7	10	15
Чураковая	11	15	20	25	30
Кирпичная, бетонная	7	10	13	16	19
Каменная					

Таблица 4.3

Перемычка	Фактические утечки, %, в породах	
	трещиноватые	нетрещиноватые
Дощатая	2,45	1,4
Чураковая	1,75	1
Шлакоблочная	1,4	0,8
Каменная	1,2	0,7
Бутобетонная	1,05	0,6

Герметичность перемычек повышается с помощью покрытия их специальными пленкообразующими эмульсиями. В связи с нахождением перемычек длительное время в условиях большого горного давления эмульсии должны быть достаточно вязкими и иметь устойчивые связи между частицами.

Существует несколько эмульсий, отвечающих различным требованиям. По сцеплению с покрываемой поверхностью и по воздухопроницаемости лучшей является битумно-латексно-кукерсолная мастика (БЛК), состоящая из кукерсоли (52% по весу), битума марки БК-4 (28%), латекса марки СКМС-30РП (5%), портландцемента (5%) и асбеста марки 7-370 (10%). Мастика БЛК водостойкая.

Герметичность вентиляционных дверей. Используются для прохода людей и пропуска транспорта через перемычки, а также для блокирования выработок шахты при авариях. Двери могут быть деревянными или металлическими. Наибольшее распространение получили одно- и двухстворчатые двери с ручным, механическим и автоматическим открыванием. Утечки воздуха через двери могут быть значительными из-за их периодического открывания.

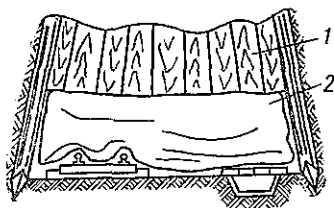


Рис. 4.32. Обеспечение герметичности вентиляционной двери в зазоре у почвы выработки:

1 — дверь; 2 — парусовое полотно

Рис. 4.32. Обеспечение герметичности вентиляционной двери в зазоре у почвы выработки (рис. 4.32).

При эксплуатации дверей следует обратить внимание на навески двери и устойчивость боковых пород. Перекрепление выработки может серьезно нарушить распределение воздуха. В СССР получили распространение автоматические вентиляционные двери с пневматическим электроприводом. Они могут быть двухстворчатыми, раздвижными, гильотинного типа или в виде ляды. Дверь с пневмоприводом показана на рис. 4.33. Двери 1 открываются от импульса электровоза через датчики открытия и закрытия, соединенные с воздухораспределителем 2 механизма управления дверью. В механизм управления входят: ведущая шестерня 3, одетая на полуось 4 двери, рейка 5, шток 6, цилиндр 7, воздухораспределитель ВР-350 и резервная емкость 8 на 0,2—0,3 м³ сжатого воздуха, рассчитанная на 40—50 манипуляций двери. При подаче воздуха в цилиндр и движении рейки поворачивается ведущая шестерня, а затем через тягу 9 — рычаг второй створки.

Автоматические двери могут устанавливаться в откаточных и вентиляционных выработках при депрессии 50—100 даПа. Их аэродинамическое сопротивление колеблется в пределах 1,5—7 даПа с²/м⁶.

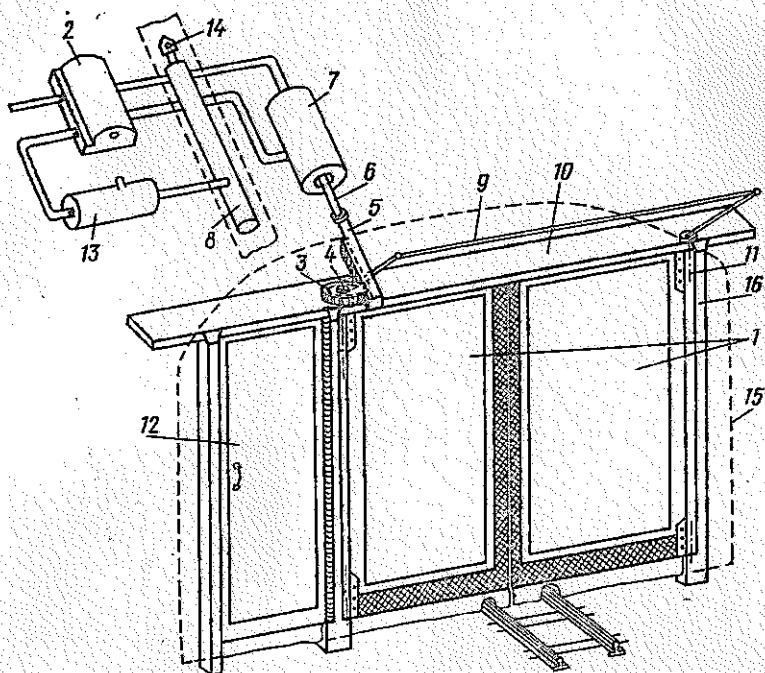


Рис. 4.33. Автоматическая вентиляционная дверь:

1 — дверь; 2 — воздухораспределитель; 3 — шестерня; 4 — полуось; 5 — рейка; 6 — шток; 7 — цилиндр; 8 — резервная емкость; 9 — троса; 10 — верхняя; 11 — полуось; 12 — малая дверь; 13 — автомасленка; 14 — обратный клапан; 15 — контур выработки в черне; 16 — металлическая стойка

В условиях большого горного давления применяется дверь, показанная на рис. 4.34. Давление пород в данной конструкции воспринимается переключкой, а не дверью.

Утечки воздуха через вентиляционные двери

$$Q_{\text{ут}} = K_D S_1 \sqrt{h}, \quad (4.28)$$

где K_D — коэффициент воздухопроницаемости двери, приведен в табл. 4.4.

В хорошо подогнанных дверях утечки не превышают 10—20 м³/мин при перепаде давления около 15 кПа. Рекомендуемые нормы утечек для вентиляционных дверей приведены в табл. 4.5.

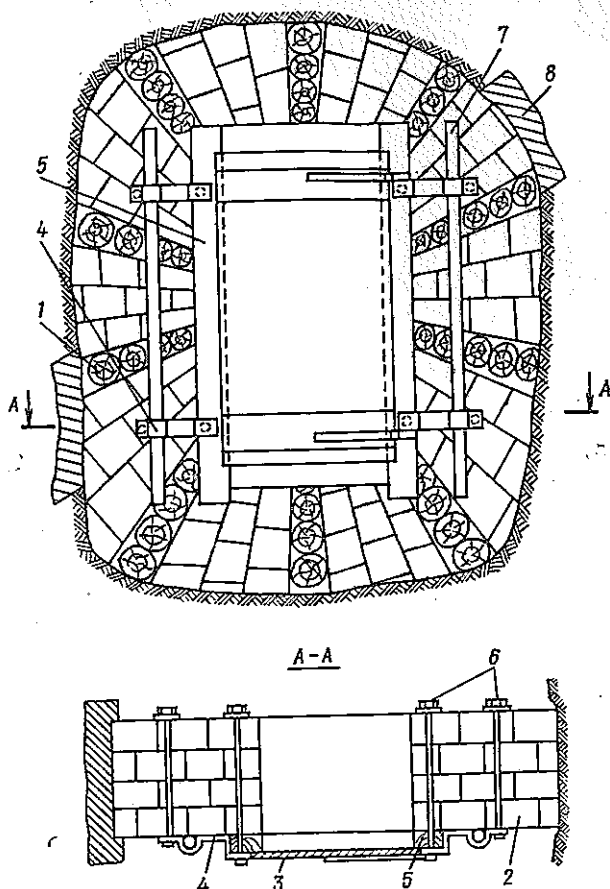


Рис. 4.34. Вентиляционная дверь для условий высокого горного давления:

1 — упругие элементы (амортизаторы) из деревянных чураков;
2 — бетониты; 3 — дверь; 4 — накладка; 5 — косяк; 6 — болты;
7 — промежуточный косяк; 8 — пласт угля

Таблица 4.4

Характеристика двери и перемычки	Коэффициент K_D деревянной двери
В чураковой перемычке: обмазанной с обеих сторон глиной с тщательно оштукатуренной перемычкой	0,08 0,05
В бетонной (каменной) перемычке с прорезиненными прокладками: по периметру двери с дверьми, обитыми железом	0,04 0,03

Таблица 4.5

Дверь	Перемышка	Норма утечек воздуха, м ³ /мин
Одностворчатая	Чураковая	45
	Бетонная или каменная	40
Двухстворчатая	Чураковая	75
	Бетонная или каменная	70

Приведенные нормы удваиваются для главных вентиляционных выработок. Для шлюзов принимают коэффициент 0,76 при двух дверях и 0,66 — при трех.

Герметичность кроссинга, или воздушного моста, который устанавливается в местах пересечений выработок со свежей и исходящей струями. Кроссинг может быть перекидной или в виде обходной выработки (рис. 4.35, 4.36). Первый изготавливается из бетона, камня или труб с тщательной заделкой зазоров между кладкой и боковыми породами. Утечки через кроссинги составляют 40—50 м³/мин.

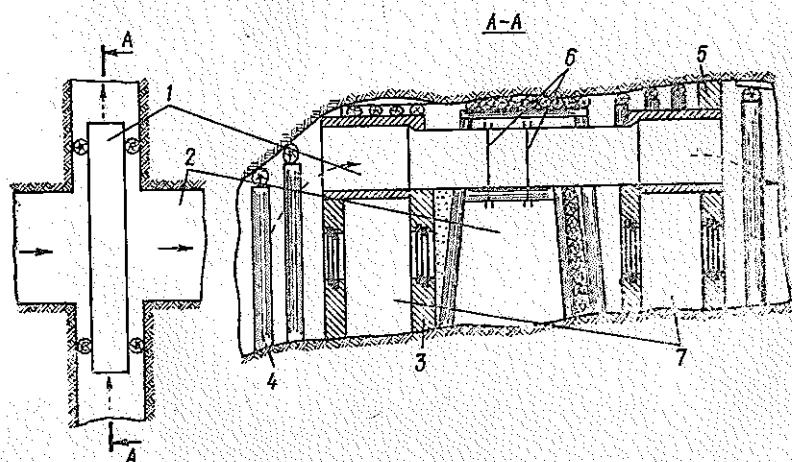


Рис. 4.35. Перекидной кроссинг:

1 — труба; 2 — выработка со свежей струей; 3 — опоры трубы; 4 — крепь выработки с исходящей струей; 5 — герметизирующая перемышка; 6 — анкеры; 7 — шлюз

Герметичность шлюза — устройства, обеспечивающего проход для людей между зонами с различным давлением (в надшахтном здании), выработками со свежей и исходящей струями и т. д. с минимальными утечками воздуха. Для этого в

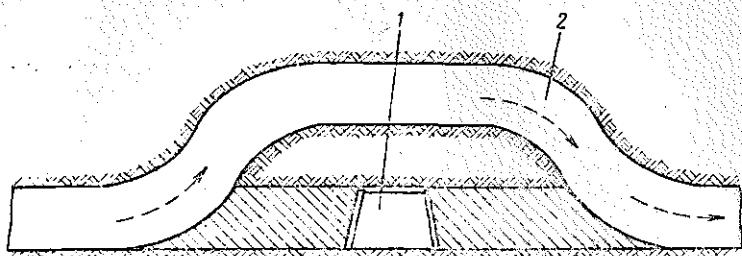


Рис. 4.36. Кроссинг в виде обходной выработки:

1 — выработка со свежей струей; 2 — обходная выработка с исходящей струей

шлюз входят несколько (обычно две) последовательно установленных герметичных дверей (рис. 4.37). При большой разности давлений за шлюзом в двери встраиваются малые клапаны 6. Клапаны открываются в первую очередь, облегчая последующий поворот двери, находящейся под депрессией.

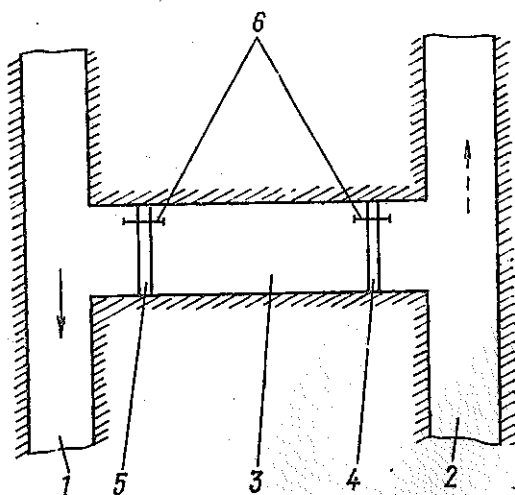


Рис. 4.37. Схема шлюзового соединения выработок:

1 — выработка со свежей струей; 2 — выработка с исходящей струей; 3 — сбойка со шлюзом; 4 — первая перемычка шлюза; 5 — вторая перемычка шлюза; 6 — условное изображение малого клапана

5. ПРОВЕТРИВАНИЕ ВЫРАБОТОК ПРИ ПРОХОДКЕ

5.1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Проветривание подготовительных выработок — это подача в забой свежей и отвод исходящей струй по выработке, не имеющей второго выхода, типа тупиковой (рис. 5.1). Проветривание подготовительных выработок связано с определен-

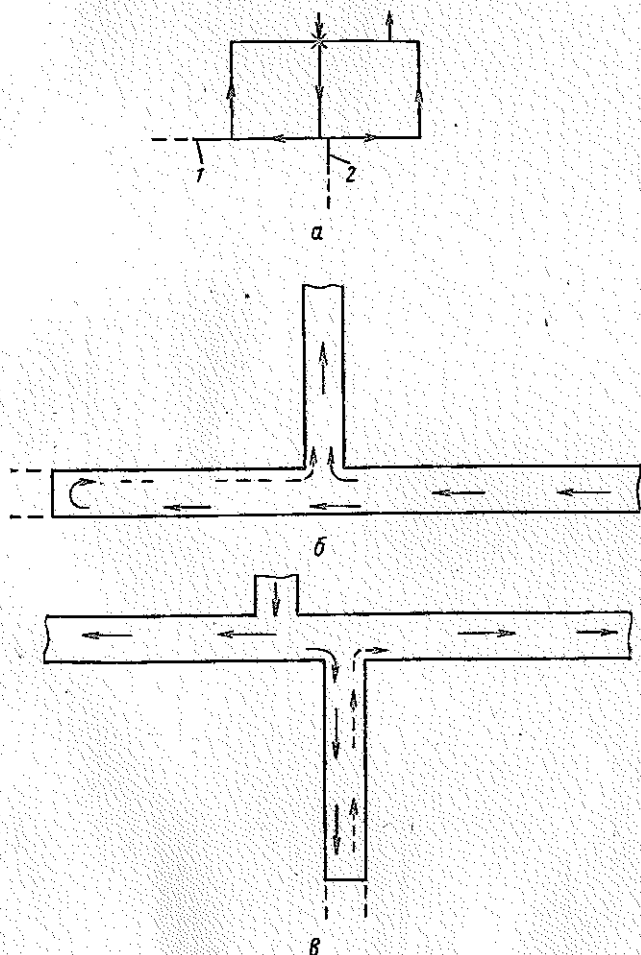


Рис. 5.1. Основные типы тупиковых подготовительных выработок:

а — технологическая схема шахты с наклонным стволом и развитием горизонтальных и наклонных выработок; 1 — местоположение проходимой горизонтальной выработки; 2 — положение проходимой наклонной выработки; б — проветривание горизонтальной тупиковой выработки; в — проветривание наклонной тупиковой выработки

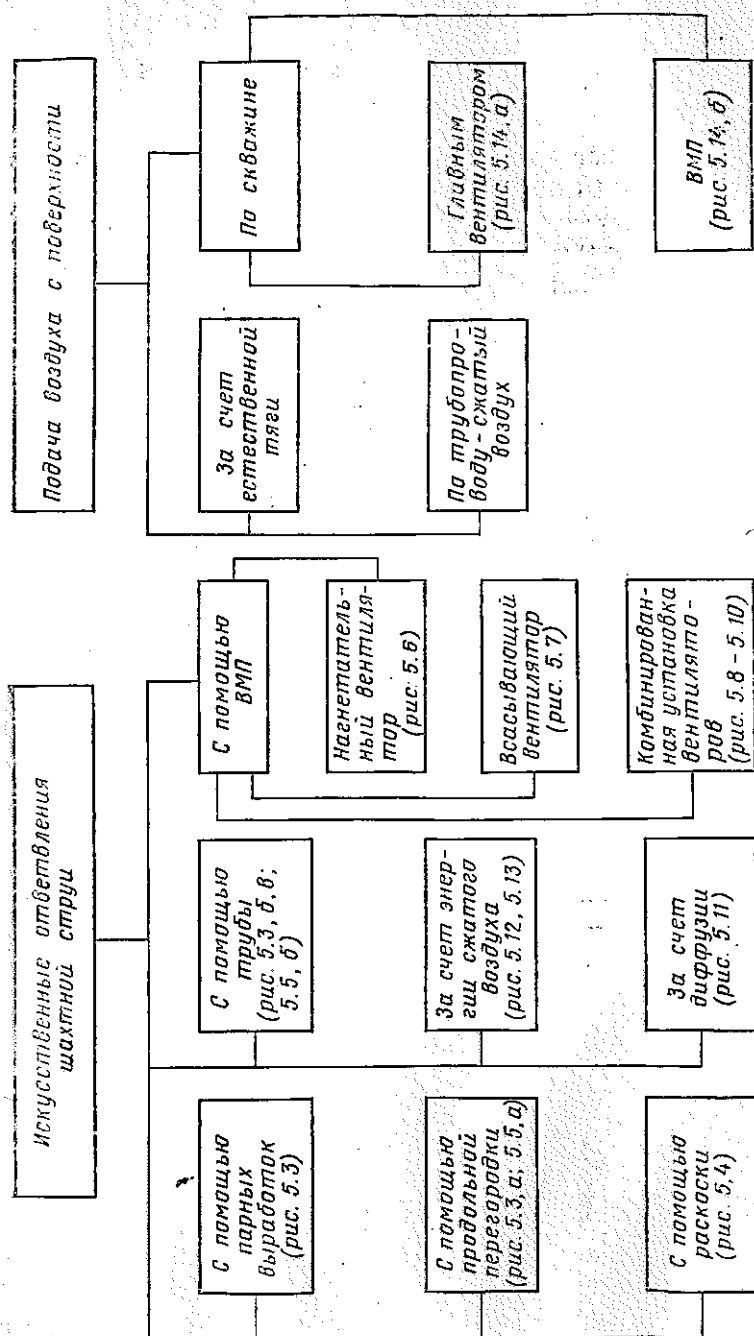


Рис. 5.2. Классификация способов проветривания подготовительных выработок

ными трудностями, поскольку ответвление общешахтной струи производится в узких пространствах и одновременно с проходкой.

Метановыделение в подготовительную выработку происходит из боковых пород при их обнажении, а также из отбитого полезного ископаемого. Выделившийся метан и воздух расходятся в поперечном сечении выработки, что также осложняет проветривание.

В связи с вышесказанным в классификационные признаки входят искусственные ответвления общешахтной струи и подача воздуха с поверхности. В целом классификация дана на рис. 5.2. Из классификации и приведенных рисунков видно следующее. При проветривании с помощью перегородок, труб и раскоски длина тупика (или ответвления) должна быть не более 60—70 м.

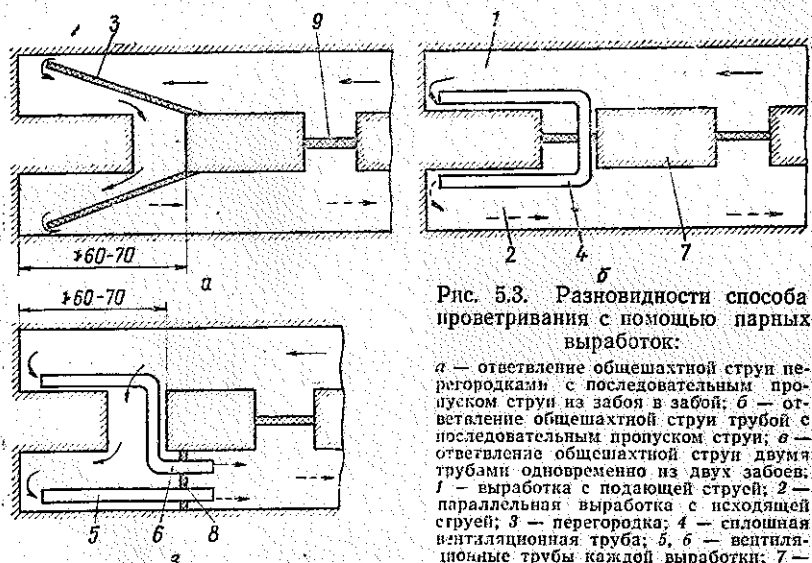


Рис. 5.3. Разновидности способа проветривания с помощью парных выработок:

а — ответвление общешахтной струи перегородками с последовательным пропуском струи из забоя в забой; б — ответвление общешахтной струи трубой с последовательным пропуском струи; в — ответвление общешахтной струи двумя трубами одновременно из двух забоев; 1 — выработка с подающей струей; 2 — параллельная выработка с исходящей струей; 3 — перегородка; 4 — сплошная вентиляционная труба; 5, 6 — вентиляционные трубы каждой выработки; 7 — перемычка проходная; 8 — целик; 9 — перемычка между целиками

При проветривании с помощью парных выработок (рис. 5.3) утечки воздуха могут быть только на участке между сбойками и через перемычки в сбойках

$$Q_{\text{ут}} = m_{\text{п}} \frac{P_{\text{пр}}}{100\%} \cdot Q_{\text{з}}, \quad (5.1)$$

где $m_{\text{п}}$ — число перемычек;
 $P_{\text{пр}}$ — утечки через стандартную перемычку с $S = 5 \text{ м}^2$ и периметром 9,3 м, %, приведены в табл. 4.3;

ψ — коэффициент приведения периметра рассматриваемой перемычки (Р) к стандартной $\psi = \frac{9,3}{Р}$;

Q_3 — количество воздуха, необходимое для проветривания забоя.

Поэтому в целом двойные выработки можно проходить большой длины в зависимости от $h_{ш}$.

Аналогично с проветриванием парными выработками является проветривание с помощью раскоски (рис. 5.4). В отличие от парных выработок здесь могут быть большие

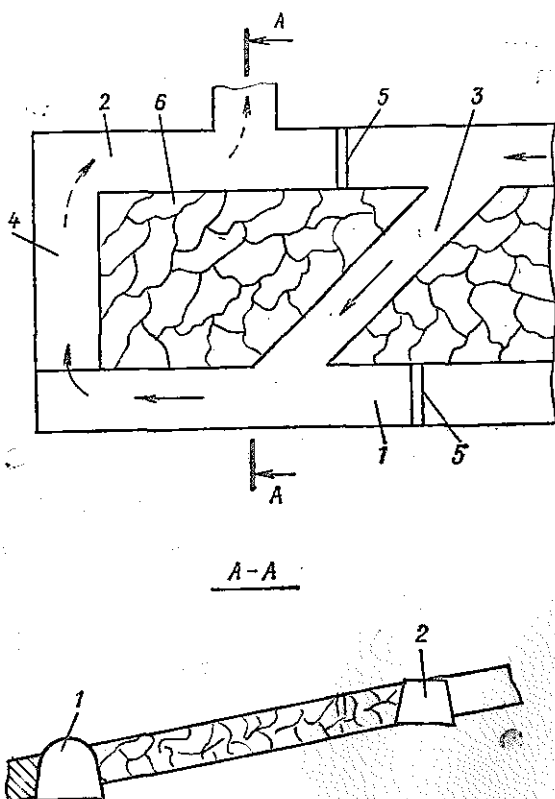


Рис. 5.4. Способ проветривания подготовительной выработки с помощью раскоски:

1 — проходимый штрек с верхней раскоской; 2 — конвейерный просек, оформляемый в верхнем конце заходки; 3 — косовичник для подачи свежего воздуха в забой штрека и заходки; 4 — заходка; 5 — перемычка; 6 — бутовая полоса

утечки воздуха между штреком 1 и просеком 2, которые разделены бутовой полосой 6.

В качестве материала для перегородок при различных способах проветривания подготовительных выработок применяют дерево, парусину, кирпич и бетониты.

Продольные перегородки выполняют в виде вертикальной стенки или короба (рис. 5.5).

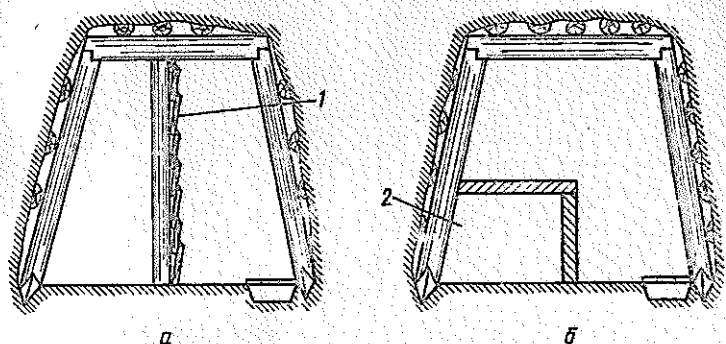


Рис. 5.5. Разновидности конструкции продольных перегородок:

а — вертикальная дощатая перегородка; б — изогнутая полка с образованием короба; 1 — перегородка; 2 — короб

При проветривании с помощью ВМП в газовых шахтах эффективными являются нагнетательные вентиляторы. Вентилятор устанавливается на свежей струе, удаление пыли и газов производится под напором из забоя и всей выработки. Для предотвращения рециркуляции струи вентилятор помещают не ближе 10 м от выхода исходящей струи. Производительность вентилятора должна быть не более 70% дебита воздуха в выработке с общешахтной струей.

Нагнетательным способом проветривают также восстающие и стволы (рис. 5.6). Направление движения воздуха в стволе совпадает с естественной тягой, что обеспечивает более эффективную очистку призабойного пространства. Концы трубы располагают таким образом, чтобы дальность струи совпадала с длиной зоны отброса газов.

При всасывающем проветривании вентилятор, помещенный на исходящей струе, производит отсос продуктов взрыва из забоя через вентиляционную трубу (рис. 5.7). За счет этого в забой отводится свежая струя. Однако пространство забоя, из которого наиболее активно отсасывается отработанный воздух, равно всего 0,5—1,5 м. Даже при отбросе газов при взрыве на 25—50 м от забоя процесс очистки воздуха происходит замедленно. При проветривании стволов всасывающим

вентилятором в забое может образоваться застойная зона. Недостатки всасывающего проветривания ограничивают его применение в газовых шахтах.

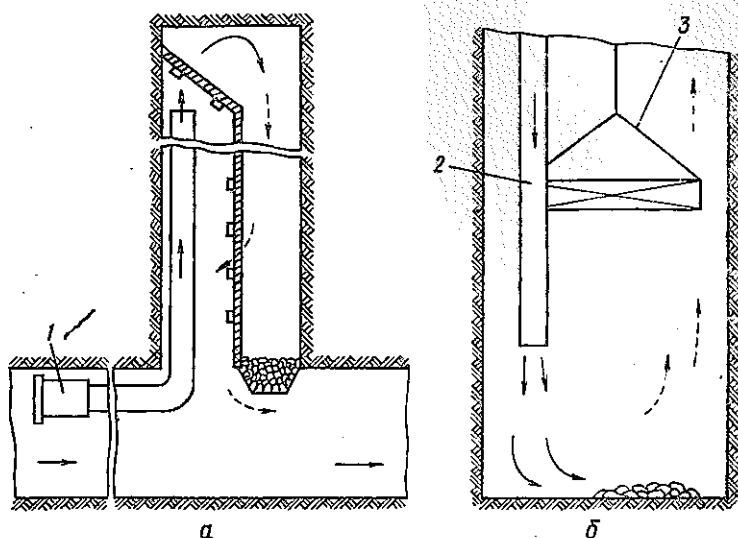


Рис. 5.6. Способ проветривания подготовительной выработки с помощью нагнетательного ВМП:

а — проветривание забоя восстающего; *б* — проветривание забоя вертикального ствола; 1 — вентилятор; 2 — вентиляционная труба; 3 — полук

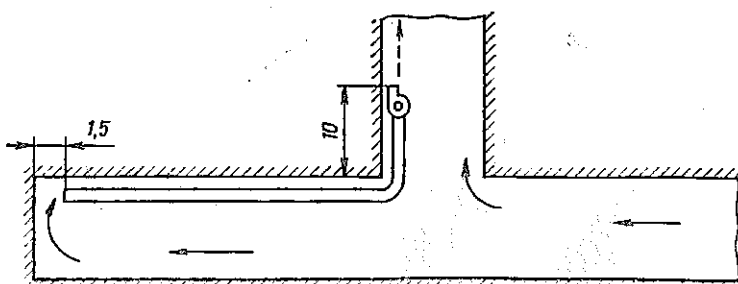


Рис. 5.7. Способ проветривания подготовительной выработки с помощью всасывающего ВМП

С целью интенсификации проветривания при увеличении длины тупика, сечения выработки и скорости проходки вентиляторы могут устанавливаться комбинированно.

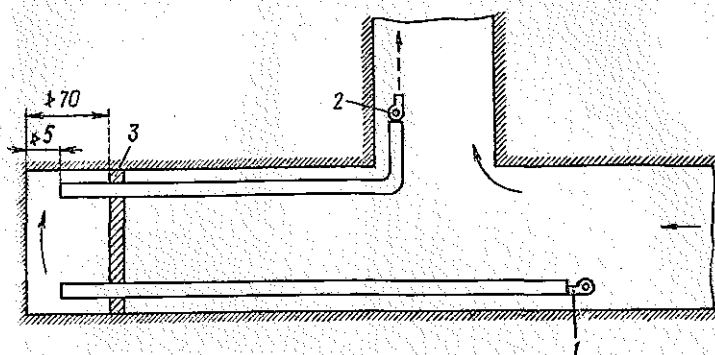


Рис. 5.8. Способ проветривания подготовительной выработки с помощью двух ВМП, установленных комбинированно:

1 — нагнетательный вентилятор; 2 — всасывающий вентилятор; 3 — перегородка

При установке вентиляторов с перегородкой, как показано на рис. 5.8, нагнетательный вентилятор интенсифицирует удаление газов всасывающим вентилятором. Для исключения рециркуляции воздуха производительность всасывающего вентилятора принимается на 30—40% больше производительности нагнетательного вентилятора.

Комбинированный способ требует более высоких затрат на вентиляционное оборудование и электроэнергию (рис. 5.9). Одна из схем комбинированной установки вентиляторов при проветривании глубоких горизонтов в Донбассе показана на рис. 5.10. Вентиляторы соединены жесткими трубопроводами, имеющими более низкий коэффициент теплопроводности. Во избежание подсоса теплого воздуха конец трубопровода первого нагнетательного вентилятора 1 находится в 20 м от выработки с исходящей струей, уменьшено расстояние до второго нагнетательного вентилятора 2.

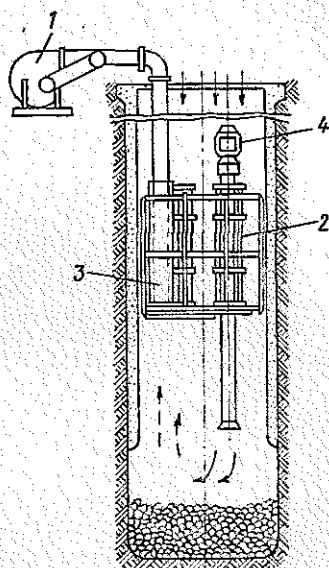


Рис. 5.9. Комбинированная установка нагнетательного и всасывающего ВМП для проветривания забоя вертикального ствола:

1 — всасывающий вентилятор; 2 — часть подвесной перегородки, несущей нагнетательный ВМП; 3 — часть перегородки, в которой находится начало трубы всасывающего ВМП; 4 — вертикальный для подвески перегородки

Движение воздуха за счет естественной тяги может быть при проходке вертикальных и наклонных стволов. Оно обеспечивается разностью температур наружного и отработанного воздуха. Более холодный наружный воздух по стенкам ствола

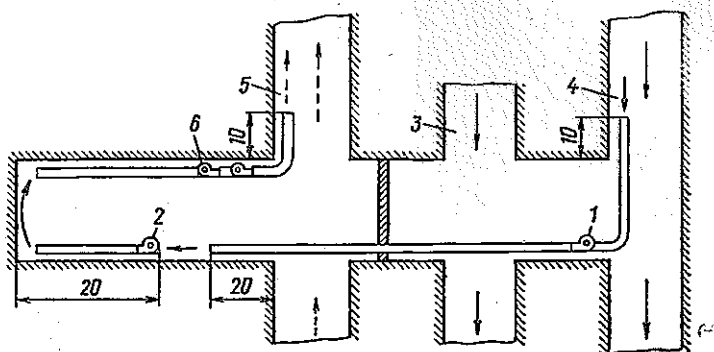


Рис. 5.10. Применение комбинированной установки ВМП при проведении штрека на большой глубине в условиях Донбасса: 1 — первый нагнетательный ВМП; 2 — второй нагнетательный вентилятор; 3, 4 — уклоны со свежей струей воздуха; 5 — вентиляционный уклон; 6 — последовательно установленные всасывающие ВМП

спускается в забой, а более теплый — вследствие работы механизмов и людей — отработанный воздух поднимается в центре ствола на поверхность. Направление движения воздуха постоянно и не меняется от времени года. Оно может только усиливаться зимой или уменьшаться летом из-за колебаний разности температур. Усилению естественной тяги способствует охлаждение стенок ствола капеем воды. Скорость нисходящего потока воздуха достигает 0,25, а восходящего — 1,5 м/с.

Неустойчивость проветривания и его неуправляемость не позволяют применять естественную тягу воздуха при проходке стволов глубиной более 20—30 м. При проходке наклонных стволов естественная тяга меньше. Еще меньше она наблюдается при проходке слепых стволов, бремсбергов и уклонов, не имеющих выхода на поверхность.

Проветривание за счет диффузии свежей струи в отработанной струе возможно при небольших размерах проходимых камер (рис. 5.11). С целью улучшения проветривания в камере устанавливают вентиляционную перегородку 1.

Проветривание с помощью энергии сжатого воздуха (рис. 5.12) обеспечивается эжектором 1, сопло 2 которого установлено в трубопроводе 3. Поэтому свежий воздух движется за счет разности давлений сжатого P_2 и свежего P_1 воздуха. Создаваемый с помощью эжектора поток воздуха по расходу

в 10—15 раз эффективнее простого выпуска сжатого воздуха в забой из системы, что часто применяется в рудных шахтах при проветривании выработок горизонта скреперования во время выпуска руды.

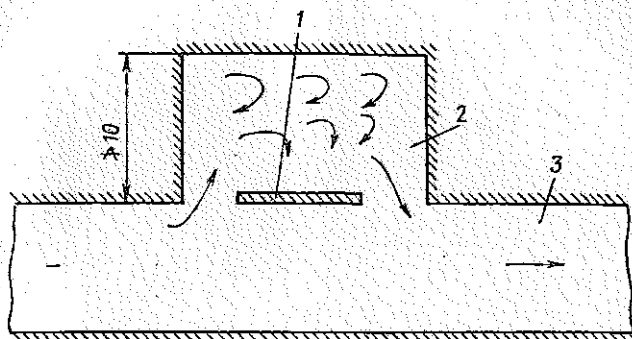


Рис. 5.11. Способ проветривания выработки типа камеры за счет диффузии воздуха:

1 — перегородка; 2 — камера; 3 — прилегающая выработка со свежей струей

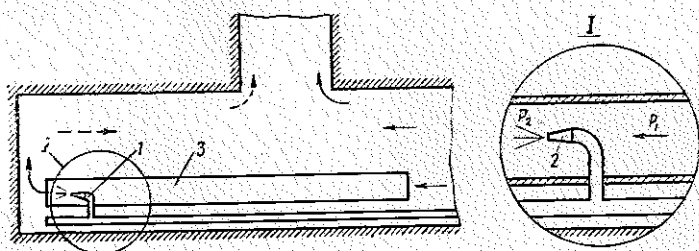


Рис. 5.12. Способ проветривания подготовительной выработки с помощью энергии сжатого воздуха:

1 — эжектор; 2 — насадка эжектора; 3 — трубопровод свежего воздуха

Находят применение вихревые трубы 1, в которых установлены два эжектора: на теплой 4 и холодной 3 струях (рис. 5.13). Разделение входящего в трубу сжатого воздуха на теплую и холодную струи производится с помощью кольца 5. В результате холодная струя подается в забой, а теплая — по верху выработки уходит от забоя, образуя исходящий поток. Скорость движения встречных потоков достигает 0,3—0,5 м/с.

Вихревые трубы экономически выгодно применять после взрывных работ, переходя затем до следующего взрыва на проветривание с помощью простого эжектора.

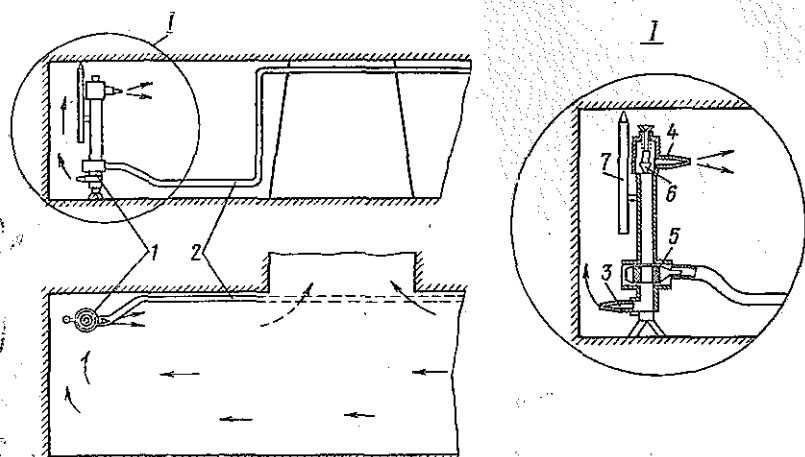


Рис. 5.13. Применение вихревой трубы для проветривания подготовительной выработки энергией сжатого воздуха:

1 — установка трубы в забое; 2 — трубопровод сжатого воздуха; 3 — эжектор холодного воздуха; 4 — эжектор теплого воздуха; 5 — сопловое кольцо; 6 — дроссельный кран; 7 — распорная колонка

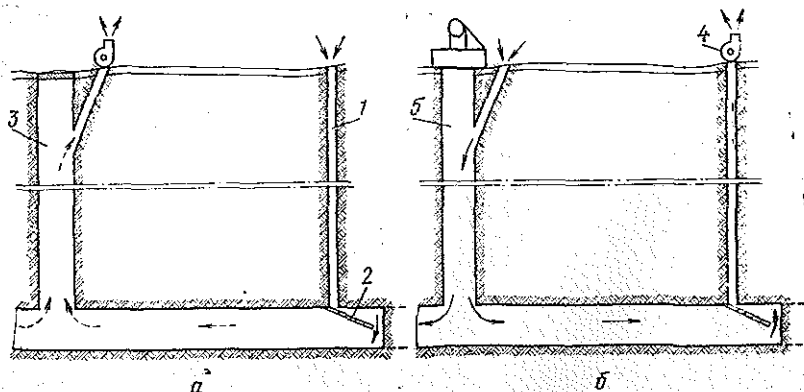


Рис. 5.14. Способ проветривания подготовительной выработки с помощью поверхностных скважин:

а — за счет депрессии общешахтной струи; 1 — скважина; 2 — перегородка; 3 — вентиляционный ствол; б — с помощью ВМП: 4 — местный вентилятор; 5 — подающий ствол

При проветривании подготовительных выработок с помощью скважин забой связывается с поверхностью земли. Скважины бурятся периодически через 60—100 м (рис. 5.14). Диаметр скважин 150—1000 мм.

Если по скважине воздух поступает непосредственно в подготовительную выработку, то при этом депрессия создается главным вентилятором. При обратном направлении воздуха на скважине должен быть установлен ВМП (рис. 5.14, а, б).

5.2. РАСЧЕТ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Во всех способах расчет сводится к нахождению количества воздуха, необходимого для создания нормальных условий в забое. Количество воздуха определяется по ряду факторов, причем для фактического использования принимается максимальная величина, которая и удовлетворит любую потребность в воздухе.

Изложение порядка расчета начнем с наиболее распространенного способа с помощью нагнетательного вентилятора (рис. 5.15). Количество воздуха определяется по людям, метановыделению, газам ВВ, пыли, минимальной скорости движения воздуха и тепловому фактору.

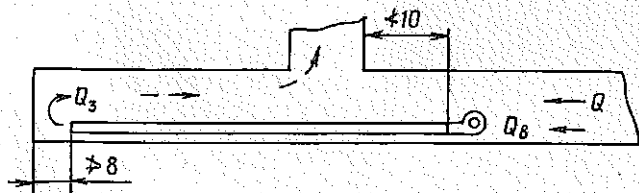


Рис. 5.15. Схема к расчету проветривания подготовительной выработки с помощью нагнетательного вентилятора

По людям количество воздуха для подготовительного забоя

$$Q_3 = n_r K_3^{\max}, \quad (5.2)$$

где n_r — норма подачи свежего воздуха на одного подземного рабочего, $n_r = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$;
 $K_3^{\max}$ — максимальное количество рабочих, одновременно находящихся в забое подготовительной выработки, берется из паспортных данных.

По выделению газов CH_4 (CO_2)

$$Q_n = Q_z + Q_c, \quad (5.3)$$

где Q_z — расход воздуха для разбавления газа, выделяющегося непосредственно в забое;

Q_c — количество воздуха, необходимое для разбавления газа, выделяющегося из стенок выработки.

При комбайновой проходке по CH_4

$$Q_z = \frac{1,8 \cdot 10^3}{K_r} \sqrt[3]{\frac{G_0^2 J_{\max}^n V_{\text{см}}}{(d - d_0)^2}}, \quad (5.4)$$

где G_0 — величина начального газовыделения, для пластов с природной газоносностью x , большей $10 \text{ м}^3/\text{т}$,

$$G_0 = \frac{(x - x_0)^2 \gamma H 10^{-3}}{17,3 (1725 - H)}; \quad (5.5)$$

$J_{\max}^n$ — максимальная производительность комбайна, т/с ,

$$J_{\max}^n = 60 b_0 m_c V_{\text{оп}} \gamma;$$

b_0 — захват комбайна;

m_c — диаметр коронки;

$V_{\text{оп}}$ — скорость перемещения исполнительного органа, м/с ;

$V_{\text{см}}$ — зона смешивания, объем выработки от конца вентиляционной трубы до забоя, м^3 ;

K_r — коэффициент турбулентной диффузии, $K_r = 0,2 - 1,0$, находят в зависимости от расположения конца трубопровода по высоте выработки;

H — глубина разработки;

x_0 — остаточная газоносность угля, $\text{м}^3/\text{т}$;

и d_0 — содержание метана на исходящей и входящей струе, по ПБ для подготовительной выработки $d_0 = 0$, $d = 0,5\%$.

При буровзрывной проходке по CH_4

$$Q_z = \frac{l_{з.тр} S_3}{K_r} \left(\frac{71 J_{з.п \max}}{S_3 l_{з.тр} (d - d_0) + 18 J_{з.п \max}} \right), \quad (5.6)$$

где $l_{з.тр}$ — расстояние от конца вентиляционной трубы до забоя, м , при нагнетательном вентилировании.

$$I_{з.тр} \leq 0,5 \sqrt{S_3} \left(1 + \frac{1}{2a} \right); \quad (5.7)$$

a — коэффициент структуры свободной струи,
 $a=0,06-0,08$;

S_3 — сечение забоя, m^2 ;

$J_{з.п \max}$ — максимальная интенсивность газовыделения после взрывания по углю

$$J_{з.п \max} = 0,05 S_{yr} I_{з.п} (x - x_0); \quad (5.8)$$

$I_{з.п}$ — подвигание забоя за цикл;

S_{yr} — площадь забоя по углю.

Количество воздуха, необходимое для разбавления газа, выделяющегося из стенок выработки, находят из выражения

$$Q_c = \frac{400 G_0 m V_n}{d - d_0} \left(\sqrt{\frac{L_{выр}}{V_n} + 1} - 1 \right), \quad (5.9)$$

где m — мощность пласта;

$L_{выр}$ — длина выработки;

V_n — скорость проведения выработки, $m/мес.$

По расходу ВВ

$$Q_3 = \frac{2,25 S_3}{t} \sqrt[3]{\frac{Ab\varphi_1 L_{выр}^2}{S_3 K_1^2}}, \quad (5.10)$$

A — количество одновременно взрываемого ВВ, $кг$;

b — газовость ВВ, т. е. количество газов, выделяющихся из ВВ при взрыве, $b=100$ л/кг при взрывании по углю, $b=40$ л/кг — при взрывании по породе;

φ — коэффициент обводненности выработки, зависит от притока воды и колеблется в пределах от 0,15 до 0,8;

t — время проветривания, $t=1800$ с;

K_1 — коэффициент, учитывающий утечки воздуха из трубопровода или непоступление воздуха в забой, который разбавляет метан, выделяющийся из стенок выработки,

$$K_1 = \frac{Q_v}{Q_3}; \quad (5.11)$$

Q_v — дебит вентилятора.

Для труб из ткани M коэффициент K_1 в зависимости от длины трубопровода колеблется в пределах 1—2,5.

Для жесткого трубопровода

$$K_1 = \left(0,33 K_y d_{\text{тр}} \frac{L_{\text{выр}}}{l_{\text{зв}}} \sqrt{R+1} \right)^2, \quad (5.12)$$

где K_y — удельный стыковой коэффициент воздухопроницаемости; выведен для условного трубопровода (1 м) и зависит от качества соединения звеньев; равен количеству воздуха, просачивающегося через стык при давлении 1 даПа (табл. 5.1);

$d_{\text{тр}}$ — диаметр трубопровода;

$l_{\text{зв}}$ — длина звена;

R — сопротивление трубопровода, включающее сопротивление на входе, линейное и на выходе,

$$R = R_{100} \frac{L_{\text{выр}}}{100} + 1,6 \frac{0,06}{S_{\text{тр}}^2}; \quad (5.13)$$

R_{100} — сопротивление стандартного трубопровода длиной 100 м;

$S_{\text{тр}}$ — сечение трубопровода.

Таблица 5.1

Наименование соединения труб	$K_y \cdot 10^3$
Бандажное	0,034
Фланцевое с резиновыми прокладками:	
сборка тщательная	1
сборка хорошая	2,2—3
сборка в шахтных условиях	5
На резьбе с промазкой:	
цементом	3,49
глиной	7,43

Формула (5.10) пригодна для $L_{\text{выр}} > 500—600$ м, так как выведена для случая одноразовой замены полностью загрязненного воздуха при относительно небольшом количестве взрываемого ВВ, и в длинных проходимых выработках может быть большое Q_3 . Поэтому при $L_{\text{выр}}$ больше указанного предела переходят на критическую длину в соответствии с выражением

$$L_{\text{кр}} = 12,5 \frac{AbK_{\text{т}}}{S_3}. \quad (5.14)$$

По минимальной скорости движения воздуха

$$Q_3 = 60 V_{\text{н.мин}} \cdot S_3, \quad (5.15)$$

где $V_{\text{н.мин}}$ — минимальная скорость движения воздуха по ПБ.

По тепловому фактору

$$Q_3 = 20 V_{3.\min} \cdot S_3, \quad (5.16)$$

где $V_{3.\min}$ — минимально необходимая скорость движения воздуха при температурах в забое более 20°C , принимается по ПБ.

По пыли

$$Q_3 = (0,5-0,7) S_3, \quad (5.17)$$

где $0,5-0,7$ — скорость движения воздуха, оптимальная с позиций удаления пыли из подготовительного забоя.

После выбора Q_3 устанавливают Q_v из выражения (5.11). Затем определяют депрессию вентилятора

$$h_v = R \left(\frac{Q_3 + Q_v}{2} \right)^2, \quad (5.18)$$

или

$$h_v = R Q_3 Q_v. \quad (5.19)$$

По Q_v и h_v выбирают ВМП. При этом при неудовлетворении Q_v может быть установлено несколько вентиляторов последовательно (при большом R) и параллельно (при малом R). Необходимо также выполнять условие, по которому дебит вентилятора должен быть больше или равен количеству воздуха, проходящему по выработке.

При других способах установки вентиляторов отличие в расчете составляет только определение Q_3 по газам ВВ.

При всасывающем вентиляторе

$$Q_3 = \frac{2,13}{t} \sqrt{AbS_3 I_{3.0}}, \quad (5.20)$$

где $I_{3.0}$ — зона отброса газов ВВ.

Зону отброса находят в зависимости от расположения конца трубопровода $I_{3.\text{тр}}$ при всасывающем проветривании, равном $0,5 \sqrt{S_3}$. Тогда

$$I_{3.0} = 15 + \frac{A}{5}. \quad (5.21)$$

При комбинированной установке вентиляторов дебит нагнетательного вентилятора определяют по вышеприведенным формулам. Тогда дебит всасывающего вентилятора будет на 30—40% больше.

Выбор эжектора производят по номограммам (рис. 5.16). Например, для выработки с $Q_3 = 60 \text{ м}^3/\text{мин}$, $L_{\text{выр}} = 90 \text{ м}$ и $d_{\text{тр}} = 500 \text{ мм}$ область применения эжектора определится по номограмме б, III, при этом расход сжатого воздуха q_c составит

3,7 м³/мин (номограмма е). В целом проветривание эжекторами характеризуется большими напорами и низким кпд.

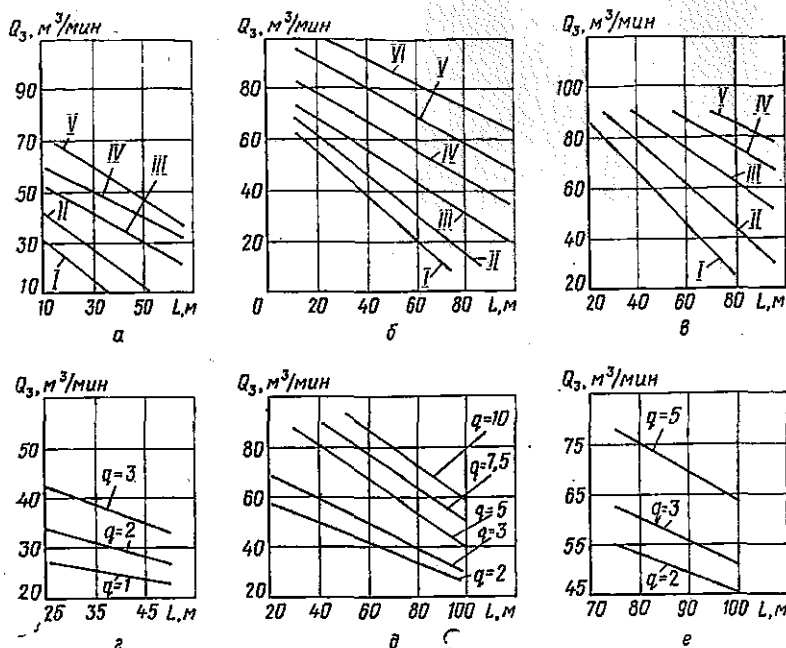


Рис. 5.16. Номограммы выбора эжектора для проветривания подготовительных выработок:

а, б, в — области применения эжекторов при диаметре подающего трубопровода 300, 400 и 500 мм, г, д, е — расход сжатого воздуха при тех же условиях; I—V — номера областей; L — длина выработки

Расход сжатого воздуха может быть определен по зависимости

$$C = 3,6 \varphi S_c \quad (5.22)$$

где φ — расход сжатого воздуха на 1 мм² площади сопла;
 S_c — площадь сопла.

При расчете количества воздуха, необходимого для проветривания парных выработок, используются зависимости, полученные для способов с ВМП, если последний устанавливается для тупиковых частей указанных выработок. Однако количество воздуха на всасе вентилятора должно быть увеличено в зависимости от количества сбоек между выработками и герметичности установленных в них перемычек.

5.3 ВЕНТИЛЯЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТОК

При проходке используют оборудование согласно классификации способов проветривания выработок. Применяют продольные перегородки, изготовленные из парусины, дерева, кирпича и других материалов.

Парусиновые перегородки наиболее просты в изготовлении, но характеризуются большими утечками (до 80% на длине 40 м). Прикрепление парусиновых полотнищ к стойкам и рейкам должно быть особо тщательным. Для уменьшения утечек низ перегородки засыпается породной мелочью.

Деревянные перегородки изготавливаются из досок или обшп. Последние прибиваются к стойкам впритык или внахлестку, как было показано на рис. 5.5,а. Перегородка может быть двойной с засыпкой пространства между стенками глиной, инертной пылью или песком. Утечки воздуха через деревянные перегородки также значительны.

Кирпичные перегородки изготавливаются размером в 0,5—1,5 кирпича с вентиляционными клапанами против разрушения их воздушной волной при взрывах. Утечки через кирпичные перегородки достигают 10—20% на каждые 100 м.

Перегородка загромождает выработку, может быть легко подвержена разрушению добычными и транспортными механизмами. С целью увеличения герметичности на перегородки наносят специальные пасты или растворы (см. п. 4.7.3).

Вентиляционные трубы применяют из металла, специальной ткани М, дерева, текстолита, пластика, нейлона и других материалов. Такое разнообразие труб обусловлено различными условиями проходки стволов, штреков и т. д.

Металлические трубы, характеризующиеся большой жесткостью, чаще применяются в стволах, где основное проходческое оборудование подвешено на канатах, имеет люфт и может легко разрушать трубопроводы из другого материала. Трубы изготавливают из листовой стали толщиной 0,7—3 мм и диаметром 300—800 мм. Длина отдельного звена 2—4 м.

Звенья соединяют между собой главным образом с помощью фланцев или раструбов (рис. 5.17). Герметичность соединений повышают установкой прокладок и хомутов, обмазкой стыков специальными растворами.

Вентиляционные трубы из металла обладают рядом недостатков, ограничивающих их применение: большой вес, легкая подверженность коррозии и высокая стоимость.

Трубы, по прочности заменяющие металлические, изготавливают из текстолита. По весу они в десять раз легче металлических. *Текстолит* — плотная ткань, с двух сторон покры-

тая полихлорвиниловой пластмассой. Он устойчив к действию кислых шахтных вод. Толщина стенок трубы 2,2 мм.

Трубы из нейлона пропитывают для прочности неопреном.

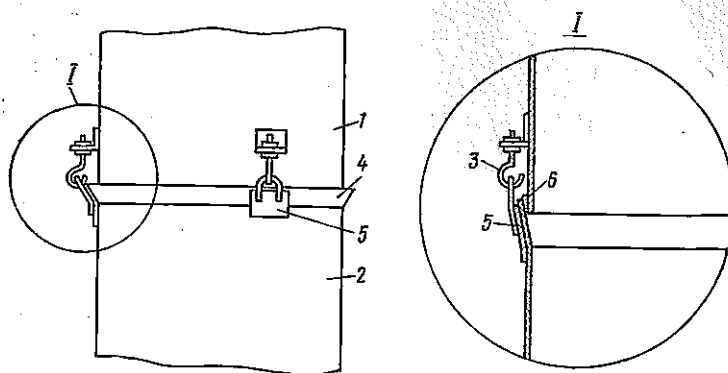


Рис. 5.17. Соединение звеньев вентиляционных труб из металла:

1 — прямой конец одной трубы; 2 — раструбный конец второй соединяемой трубы; 3 — стяжной болт; 4 — раструб; 5 — пластинка; 6 — уплотнительный пруток

Большое распространение находят *трубы из ткани М* (или МУ), представляющей собой прошитый и прорезиненный с обеих сторон текстильный материал «Чефер» общей толщиной 0,8—1,2 мм (слой резины 0,5—0,7 мм). Ткань имеет сопротивление на разрыв 27 кг/пог. см. Длина звена — 20 м. Трубы из ткани М удобны в эксплуатации. Они в 15 раз легче металлических труб, имеют небольшое количество стыков и могут без специальных колен устанавливаться на поворотах выработки. Стыки труб имеют простое и надежное соединение, состоящее из пружинных колец. Кольцо 1 одного звена вставляется за кольцо 2 другого звена (рис. 5.18). Стык при заполнении трубы воздухом самоуплотняется. Сверху стык может быть затянут хомутом 3. Диаметр трубы из ткани М

$$d_{\text{тр}} = (0,25 - 0,35) \sqrt{Q_{\text{в}}}. \quad (5.23)$$

Трубы из ткани М рассчитаны на давление не более 500 даПа. Они не могут применяться при всасывающем проветривании, легко подвергаются повреждениям и имеют небольшой срок службы (около 1—2 лет).

Деревянные трубы изготавливают из досок и фанеры. Применяют их в местах, где другие трубы не могут использоваться из-за повышенной кислотности подземных вод. Звенья соединяют с помощью муфт. Вес фанерных труб диаметром 300 мм — 10 кг/пог. м.

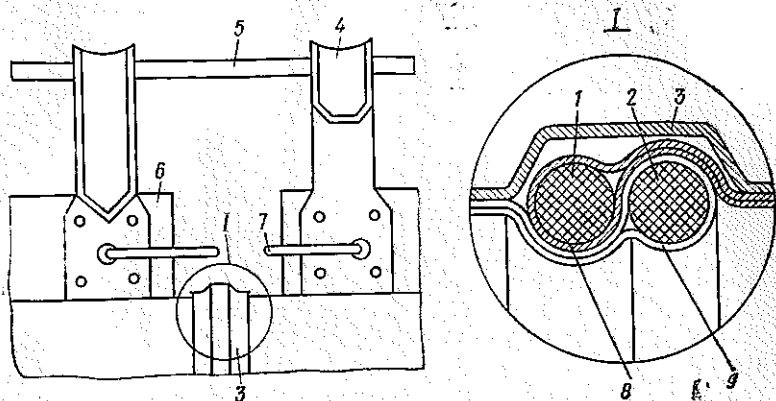


Рис. 5.18. Герметичное соединение звеньев вентиляционных труб из ткани М: 1, 2 — металлические кольца, ограничивающие концы труб и находящиеся в ткани; 3 — хомут; 4 — крючок; 5 — трос для подвески трубы; 6 — гребень трубы; 7 — металлическая петля для стягивания концов труб; 8, 9 — мягкие концы труб

Сопротивление линейной части вентиляционного трубопровода находят по формуле (3.30), учитывающей аэродинамическое сопротивление трения. Коэффициент аэродинамического сопротивления трубы α приведен в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Материал, из которого изготовлена труба	Характеристика трубы	$\alpha \cdot 10^{-4}$
Металл	$d_{тр} = 300$ мм	4,5
	400 —»—	3,6
	500 —»—	3,5
	600—700 —»—	3
	800 —»—	2,9
	900 —»—	2,8
	1000 —»—	2,5
Текстовинилит	$d_{тр} = 500$ мм	1,6
	600 —»—	1,5
	700—800 —»—	1,3
Ткань М	—	2,5—3,5
Доска	Нестроганая	3—3,5
	Строганая	2,5—2,7
	Гладкая	2,3
Фанера	С боковым швом	3—4
	Водопроводного типа	2—2,3

Для извилистого трубопровода поправка равна 1,15, деформированного и несоосного в соединениях — 1,2—1,8.

Вентиляторы местного проветривания (ВМП) могут быть осевыми и центробежными (табл. 5.3). Последние применяют реже.

Осевые вентиляторы — одно- и двухступенчатые — имеют различные приводы: электрический, гидравлический и пневматический. Шум, создаваемый при работе вентилятора, частично устраняют с помощью войлочного или другого глушителя, находящегося между кожухом и специальным сетчатым корпусом. Уровень шума у ВМП должен составлять 80—110 дБ на расстоянии 2 м от всаса вентилятора. Глушители шума типа ГШ (см. графы 4—8 табл. 5.3) снижают шум на 6—12 дБ на расстоянии 15 м.

С целью повышения безопасности работ вентиляторы местного проветривания блокируют таким образом, чтобы при остановке ВМП отключалась электроэнергия, подаваемая к другим механизмам участка.

Центробежные вентиляторы типа ВЦ имеют большую производительность и напор, что определяет их распространение при проходке и углубке стволов.

При Q_v и h_v по расчету, превышающему индивидуальные значения имеющихся вентиляторов, в выработке может быть установлено несколько вентиляторов последовательно (при большой депрессии) и параллельно (при большом Q_v) с учетом сопротивления сети.

Последовательная установка вентиляторов на один трубопровод характеризуется наличием в последнем зон компрессии (на напорной стороне) и разрежения (на всасывающей стороне). При неточной установке нескольких вентиляторов в зоне депрессии (или разрежения) может произойти сплющивание трубы, рециркуляция воздуха и большие утечки.

Правильная установка вентиляторов состоит в том, чтобы при их работе создавалась по всему трубопроводу компрессия (рис. 5.19; знаком «+» обозначена компрессия, знаком «—» — депрессия).

Из рис. 5.19 видно, что при последовательной схеме все вентиляторы наиболее целесообразно устанавливать в начале трубопровода или каждый вентилятор — в начале обслуживаемого участка. Это отвечает, как было указано, высокой безопасности работ, особенно на газовых шахтах.

Количество одновременно работающих вентиляторов может быть определено на основании индивидуальных характеристик и графическим методом. Вычерчиваются суммарные кривые совместной работы двух, трех и более вентиляторов, на которые накладывается характеристика трубопровода. Пересечение этой кривой с одной из суммарных характеристик в месте, удовлетворяющем проекту по дебиту воздуха, укажет на количество одновременно работающих вентиляторов.

Таблица 3.3

Тип вентилятора	Диаметр рабочего колеса, мм	Номи- нальный диаметр трубо- провода, мм	Производи- тельность в рабочей об- ласти, м³/с	Полное дав- ление, кПа	Рабочее давле- ние сжатого воздуха, Па	Потреб- ляемая мощность, кВт	Расход сжатого воздуха, м³/мин	КПД	Масса, кг
ВМ-3М	296	300	0,7—1,7	1—0,4	—	1—2,2	—	0,5	80
ВМ-5М	496	500	1,7—4,7	2,4—0,6	—	5—13	—	0,67	250
ВМ-8М	700	100	4—13	4,2—0,8	—	15—50	—	0,68	750
ВМ-12М	1185	1200	10—32	3,8—0,8	—	40—110	—	0,71	2300
ВКМ-200 А	—	200	0,3—0,58	1,1—0,4	(2—3,5) 10 ⁵	0,7	1,2	0,19	20
ВМП-3М	—	300	0,42—1,67	1,2—0,4	(3—5) 10 ⁵	2	2	0,24	70
ВМП-4М	—	400	0,75—2,67	2,2—0,4	(3—5) 10 ⁵	5	4	0,28	50
ВМП-5М	—	500	1,33—4,06	2—0,5	(3—5) 10 ⁵	9	6	0,3	180
ВМП-6М	—	600	2—3	2,9—0,6	(3—5) 10 ⁵	24	14,5	0,35	270
ВЦ-7	750	—	1,5—10,7	9—1,4	—	20—76	—	0,48	1400
ВЦ-9	900	517	5—29	10—3	—	100—215	—	0,47	4600
Прохodka 500-2М	508	600	0,5—3	2,1—0,5	—	11	—	0,7	473
СВМ-6М	596	—	3,5—5,5	1,9—0,5	—	14	—	0,7	364

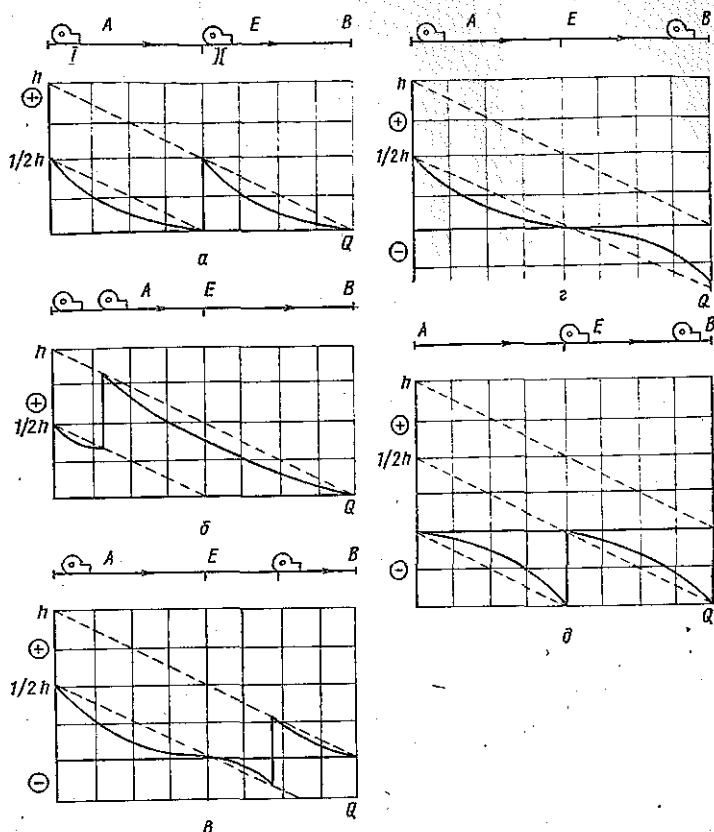


Рис. 5.19. Характеристики последовательной установки нагнетательных вентиляторов на одном участке:

a — сопротивление участков *AE* и *EB* соответствует напорам вентиляторов ($0,5h$), установленных в начале участков; *б* — вентиляторы *I* и *II* находятся в начале трубопровода, высокая компрессия вызывает утечки около вентиляторов; *в* — вентилятор *II* находится на середине участка *EB*; *г* — вентиляторы *I* и *II* находятся в начале и конце участков *AE* и *EB*; *д* — вентиляторы *I* и *II* находятся в начале и конце второго участка

Поскольку сопротивление трубопровода пропорционально только его длине, в начале проходки условиям проветривания может удовлетворять установка одного вентилятора. Последующие вентиляторы будут устанавливаться по мере удлинения трубопровода и увеличения потребного напора. Оптимальная длина трубопровода на один вентилятор

$$L_{\text{тр}} = \frac{R_{100} Q_n Q_s}{100 h_b} \quad (5.24)$$

В длинных тупиковых выработках, как правило, возникает потребность в установке нескольких последовательно соединенных вентиляторов, так как сопротивление трубопровода является большим и потребность забоя в воздухе — возрастающей.

При установке ВМП необходимо учитывать наличие на участке очистной выемки угля, так как одновременная транспортировка угля из лавы и забоя и подача в последний свежего воздуха с помощью вентилятора, установленного в штреке, вызывает дополнительные трудности. Выработки загромождаются оборудованием, увеличивающим сопротивление движению воздуха, а вентиляционные трубы подвергаются механической порче.

Решение проблемы состоит в увеличении опережения забоя просека от лавы и переносе вентиляционного оборудования в самостоятельную печь (гезенк). Это особенно важно для слоевой разработки мощных пластов. На участке имеется несколько лав на небольшом расстоянии друг от друга, а выработки подвержены взаимному влиянию слоев при выемке.

6. КОНТРОЛЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ И ПЫЛЕВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЛУЖБА НА ШАХТАХ И В КАРЬЕРАХ

6.1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СОСТАВ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА *

Измерение температуры воздуха производят ртутными и спиртовыми термометрами со вставной шкалой. Термометр, привязанный к шнуру для вращения и ускорения замера, называется пращевым. Производят два замера через 5—10 мин, которые должны быть одинаковыми.

Максимальная температура ($41-42^{\circ}\text{C}$) измеряется медицинским термометром, который имеет в устье ртутного резервуара суженный капилляр. Вследствие этого при повышении температуры ртуть нормально проходит в капилляр, а в момент падения температуры столбик ее разрывается, так как силы трения о стенки капилляра в узком месте выше сил сцепления между отдельными частицами ртути.

* Здесь дано описание ряда приборов, не вошедших в «Лабораторный практикум по курсу «Рудничная аэрология». — М.: Изд-во УДН, 1985. — 44 с.

Минимальная температура может быть зафиксирована, если в столбике спирта находится специальный штифтик 1 (рис. 6.1). Движение штифтика при снижении температуры обеспечивается пленкой поверхностного натяжения спирта 2. В момент повышения температуры штифтик останавливается, фиксируя минимальную температуру. Термометр работает в лежащем положении.

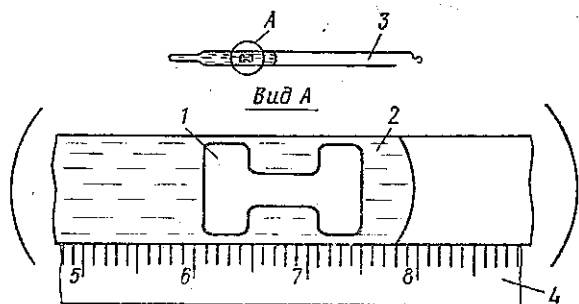


Рис. 6.1. Минимальный термометр:
1 — штифтик; 2 — спирт; 3 — корпус термометра; 4 — шкала

Изменение температуры воздуха во времени отмечается самописцем — термографом. Основная часть прибора — биметаллическая пластинка, деформирующаяся при колебаниях температуры. Термографы, как и другие самописцы (влажности и давления), рассчитаны на постоянный суточный или недельный замер, поэтому они имеют часовой механизм, вращающий барабан с диаграммной лентой. Чувствительная часть прибора соединена через передаточный механизм с пером самописца. Термограф обеспечивает запись температуры в пределах от -35°C до $+45^{\circ}\text{C}$ с точностью 1°C .

Определение температуры пород производится с помощью специальных приборов или обычных термометров, устанавливаемых в скважины.

В качестве специальных приборов применяются электротермометры и термоэлектрические датчики. Действие первых основано на свойстве металлов изменять электрическое сопротивление в зависимости от изменения температуры, действие вторых — на возникновении термотока при различии температуры термоспаев. Один термоспай (медь или константан) постоянно находится в термосе с $t = \text{const}$, второй, как и датчик, помещается в скважину. Приборы весьма инерционны.

При замере температуры обычными термометрами в скважину подают водяную гильзу для равномерной передачи тепла. В гильзе находится максимальный термометр.

Определение влажности воздуха производят с помощью пращевого или аспирационного психрометров. В приборах имеются два термометра — сухой и мокрый, показания которых в ненасыщенном воздухе различны. По разности показаний термометров и, используя номограммы или таблицы, устанавливают относительную влажность воздуха. Применяется также самописец, в котором изменение влажности наружного воздуха отражается на изменении длины пучка волос. Последнее через передаточный механизм фиксируется в единицах относительной влажности на диаграммной ленте.

Содержание газов в рудничном воздухе устанавливают с помощью различных приборов. Большинство из них рассчитано на определение нескольких газов.

Для определения содержания газов непосредственно в атмосфере горных выработок применяют бензиновые лампы, интерферометры (ШИ-10, ГИК и др.), аспираторы АМ-2М, тепло-электрические приборы СШ-2 и реактивы. Из зарубежных — R-7 (Япония), МГ (Польша), ZGI-5 (ГДР).

Лабораторный анализ проб рудничного воздуха производится с помощью объемных приборов ООГ-2, хроматографов и колориметрии.

Простейшим прибором, позволяющим определять в шахтах содержание O_2 , CO_2 и CH_4 , является *бензиновая лампа*. Она находит применение и сейчас, особенно в шахтах, опасных по углекислому газу. Лампа состоит из следующих основных частей (рис. 6.2): резервуара 1, заполняемого бензином, высокопрочного стекла 2, двух сеток 3, 4, служащих тепло- и газобарьером; каркаса 5 с крючком 6 для подвешивания, винта 7 для подачи фитиля 8, магнитного и пломбового затворов 9.

Содержание метана устанавливается по общей характеристике и высоте ореола пламени. Более точный замер осуществляется с прикрученным фитилем (высота пламени 2—3 мм), а первоначальный (особенно в плохо проветриваемых местах) — с полным пламенем высотой 25—27 мм. В обоих случаях уже при содержании CH_4 в рудничном воздухе 4% пламя вытягивается до вершины сетки, коптит, а затем при 5—6% гаснет и во внутреннем пространстве лампы горит метан светло-голубым пламенем.

Кислород и углекислый газ определяют по силе света пламени. Так, при содержании CO_2 1—1,5% сила света составляет 70—80% от первоначальной, при 2,5—3%, соответственно, 30—40% и при 4—5% пламя гаснет.

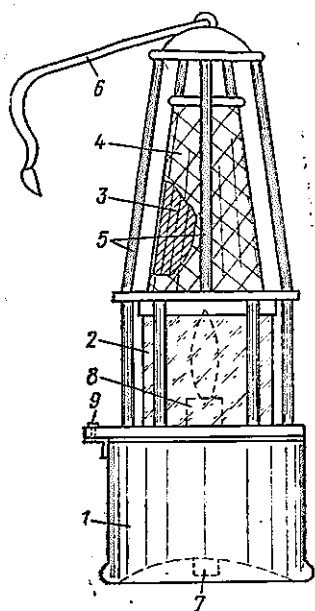


Рис. 6.2. Бензиновая лампа для определения содержания в рудничном воздухе O_2 , CO_2 и CH_4 :

1 — резервуар; 2 — стекло (отражатель); 3, 4 — металлические сетки; 5 — каркас; 6 — крючок; 7 — винт; 8 — фильтр; 9 — пломбовый затвор

Основные недостатки лампы: субъективность замера, высокая нижняя граница определения CH_4 , равная 0,5—0,75%, и трудность замера газов у кровли выработок.

В новейших приборах, предназначенных для установления в шахтах содержания газов, точность опробования повышена до сотой и тысячной процента. Приборы, особенно электрические, составляют основу аппаратуры для автоматического контроля. Они связаны с диспетчерским пунктом шахты и позволяют контролировать атмосферу одновременно во всех забоях.

Для раздельного определения в рудничном воздухе водорода, метана и углекислого газа в пределах 0—6% предназначен *интерферометр ГИК-1*. В отличие от ШИ-10 в ГИК вмонтирован поглотитель водорода из металлического палладия.

Содержание газов определяется в следующей последовательности. Вначале определяется процент метана α , при этом CO_2 и H_2 поглощаются в приборе. Затем устанавливается содержание водорода (при поглощении CO_2).

$$\beta = \alpha - (\pm 3_2), \quad (6.1)$$

где 3_2 — отсчет по интерференционной картине при замере H_2 .

В последнюю очередь устанавливается без поглощения какого-либо газа содержание CO_2

$$\gamma = 3_2 - (\pm 3_3), \quad (6.2)$$

где 3_3 — отсчет по интерференционной картине при замере CO_2 .

Для упрощения приведенных подсчетов прибор снабжен отсчетно-компенсирующим устройством.

Для непрерывного определения содержания метана и автоматической сигнализации при достижении концентрации CH_4 свыше 2% используют переносной прибор метан-реле СШ-2, работа которого основана на измерении теплового

эффекта при беспламенном сгорании метана на поверхности платинопалладиевого катализатора.

Метан-реле искробезопасен; может быть использован индивидуально или группой. Может устанавливаться непосредственно на комбайнах.

С помощью *реактива Грисса* определяют содержание окислов азота. Прибор состоит из двух частей (рис. 6.3). Часть 1 (контрольная) включает три отделения, в которых содержатся реактивы: А — густо-розового цвета, В — розового и С — бесцветный.

Часть 2—6 (рабочая) состоит из пяти свинчивающихся отделений с реактивом Грисса на пять замеров. При замере отвинченное отделение входит в контакт с рудничным воздухом и в зависимости от содержания окислов азота меняет окраску. При совпадении с эталоном А содержание NO_2 в рудничном воздухе равно 0,01% (опасная концентрация), с эталоном В — 0,00025 и С — 0%.

Стационарные приборы для автоматического определения содержания газов в рудничной атмосфере, количества проходящего воздуха и т. д. применяются при наличии диспетчерского пульта управления на поверхности шахты и датчиков на местах работ. Из приборов для контроля состава рудничной атмосферы наиболее важны индикаторы метана и водорода.

Комплекс ТКМВ (телеавтоматический контроль метана высоких концентраций). Пределы измерения: 0—100%, на 12 точках на расстоянии до 10 000 м от диспетчерской. Для шахт IV и V категорий по газу порог срабатывания аварийной сигнализации $\text{CH}_4 = 4\%$.

Прибор ТП-1120 (теплопроводный) предназначен для автоматического

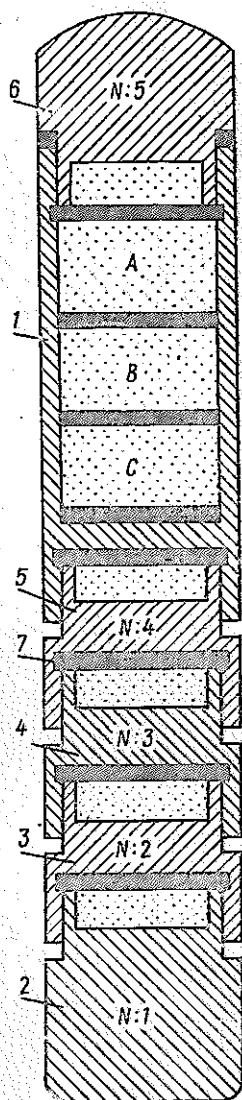


Рис. 6.3. Реактив Грисса для колориметрического определения в рудничном воздухе окислов азота:

1 — контрольная часть;
2—6 — пять свинчивающихся отделений с реактивом Грисса; 7 — прокладка

контроля содержания водорода в различных газовых средах. Принцип действия его основан на замерах теплопроводности смесей, которая резко меняется при наличии H_2 .

Взятие проб для лабораторного анализа воздуха производится несколькими способами, выбор которых зависит от условий горных выработок, химических свойств газов и необходимой точности анализа. Существуют мокрый, сухой и химический способы получения проб.

При мокром способе к месту взятия проб приносят сосуды, заполненные водой, и там их опорожняют, при этом воздух, вошедший в сосуд, становится пробой (рис. 6.4).

Способ прост, но применяется только для малорастворимых в воде газов: O_2 , H_2 , CO и CH_4 , так как после набора пробы часть воды 1 оставляют для герметизации сосуда 2 на время транспортирования (рис. 6.4, а).

При сухом способе пробой заполняются пустые сосуды. В сосудах с разрежением воздуха (2,7 гПа) в месте взятия пробы отбивают горловину. В обычных сосудах или резиновых камерах в месте набора проб воздух прокачивают насосом. Объем протягиваемого воздуха равен 16 объемам сосуда.

Сухим способом отбирают пробы для анализа на окислы азота, сернистый газ, сероводород, а также на CO_2 при точном определении. Он удобен при отборе проб из шпуров и скважин.

Сосуды для сухого способа набора проб являются хрупкими, недостаточно приспособленными к шахтным условиям. Для набора проб они требуют дополнительного оборудования.

При регулярном анализе рудничного воздуха в специальных лабораториях для взятия проб широко используются ре-

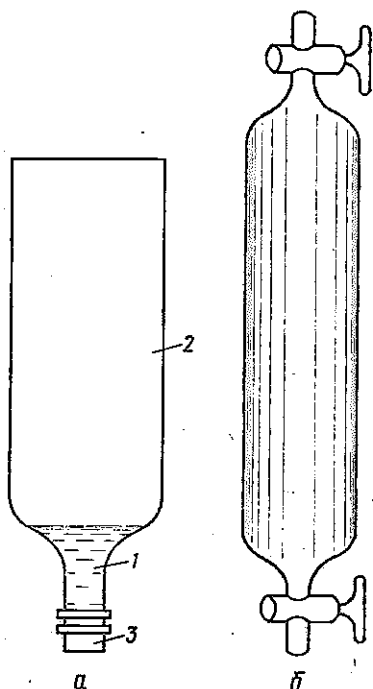


Рис. 6.4. Приспособление для взятия проб воздуха мокрым способом:

а — простая бутылка; б — бюретка с двумя кранами; 1 — вода; 2 — сосуд; 3 — пробка

зиновые камеры типа футбольных или какие-либо другие (рис. 6.5). Резиновые камеры просты и транспортабельны, а также имеют большой срок службы.

К недостатку отбора проб в футбольные камеры относится диффузия воздуха через резину, что делает срок хранения пробы в камере не более 10 ч.

При химическом способе взятия проб воздух в определенном объеме прогоняют через жидкость, в которой растворяются испытуемые газы, а полученный раствор доставляют в лабораторию для анализа (рис. 6.6). С помощью этого способа отбора проб производится точный анализ воздуха на H_2 и O_2 .

Газоанализатор ООГ (объемно-оптический газоанализатор) предназначен для определения в рудничном воздухе O_2 , CO_2 , CO , CH_4 и H_2 . Наличие первых трех газов устанавливается объемным способом, последних двух — оптическим.

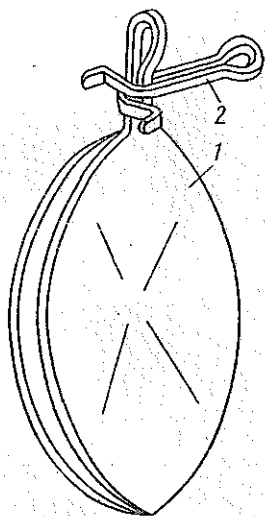


Рис. 6.5. Приспособление типа футбольной камеры для набора проб воздуха сухим способом:

1 — камера; 2 — металлический зажим

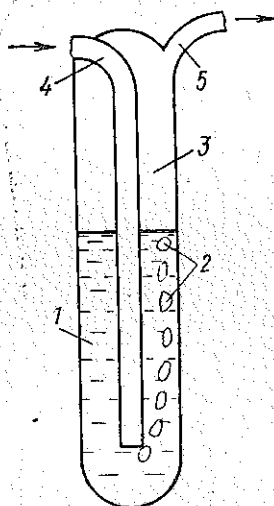


Рис. 6.6. Приспособление для набора проб химическим способом:

1 — растворитель; 2 — проба воздуха; 3 — сосуд; 4, 5 — входное и выходное отверстия для прогоняемого воздуха

Газоанализатор (рис. 6.7) состоит из поглотительных сосудов 1—6, измерительной бюретки 8, напорного сосуда 9 с затворной жидкостью 10, манометра 11, двухходовых кранов

12 и 13, трехходовых кранов 14—18 и интерферометра ЛИ-4 19.

В качестве затворной жидкости используется водный раствор хлористого натрия, манометр заполняется водой. Все краны в приборе управляются вручную.

Специальной подготовки пробы перед анализом не требуется. Для ввода ее в измерительную бюретку необходимо сосуд или камеру с пробой подсоединить к патрубку 20 и опустить жидкость в напорном сосуде. Затем испытываемая проба вводится в систему и перегоняется из сосуда в сосуд с помощью напора и разряжений, создаваемых вертикальными перемещениями напорного сосуда 9.

При определении объема каждый газ растворяется в своем поглотительном сосуде, а по остатку пробы в измерительной бюретке устанавливается процентное содержание газа. Отсчет в измерительной бюретке берется каждый раз при нулевом показании манометра.

Содержание CH_4 и H_2 определяют, как и в интерферометре ШИ-10. Однако при замере водорода проба воздуха подается в крайние отделения газовой воздушной камеры интерферометра. Это делается для того, чтобы интерференционные картины при замере CH_4 и H_2 смешались в одну сторону.

Аппаратура контроля микроконцентрации окиси углерода «Сигма-СО» предназначена для непрерывного определения СО в рудничном воздухе. Измерение основано на изменении инфракрасного излучения при поглощении его окисью углерода. Прибор самопишущий в искробезопасном исполнении. Пределы измерения СО 0—0,009%.

Хроматографы ГСТЛ, «Поиск-2». Первый рассчитан на определение в пробах рудничного воздуха тяжелых углеводородов типа этана, пропана и др. «Поиск-2» предназначен для определения кислорода, водорода, метана, окиси и двуокиси углерода. Он искробезопасен; диапазон измерения: CO_2 , O_2 и CH_4 —0—5% и 0—50%, H_2 и СО—0—2% и 0—10%; погрешность прибора— $\pm 10\%$; время анализа не более 10 мин; питание автономное, от батареи аккумуляторов; масса прибора—8 кг.

Хроматографы—приборы сорбционные. Сущность разделения газовой смеси сводится к нанесению на адсорбент определенного объема пробы с последующим вымыванием (десорбированием) компонентов воздушным потоком. Разделение происходит на основе различия сорбционных свойств компонентов.

Получающиеся в хроматографической колонке бинарные смеси направляются в измерительную часть прибора. В ГСТЛ в измерительной части используются термохимический и теплопроводный методы, в «Поиск-2» — только теплопроводный.

Определение содержания альдегидов. Точным методом определения содержания акролеина ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$) и формальдегида (CH_2O) в пробе рудничного воздуха является колориметрический метод с использованием хромотроповой, соляной и фуксиносернистой кислот. При взаимодействии с альдегидами они окрашиваются в сиреневый и розово-красный цвета. В последнем случае вначале устанавливают содержание формальдегида (по калибровочному графику), затем альдегидов в целом и, наконец, по разности — содержание акролеина.

С достаточной для практики точностью содержание альдегидов может быть установлено по запаху и действию на слизистые оболочки (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Содержание альдегидов, %	Интенсивность запаха	Характеристика воздействия на слизистые оболочки
0,00005	Нет	Раздражения нет
0,0001	Очень слабый, но определенно ощутимый	Слабо ощутимое, безболезненное
0,0002	Слабый, явно ощутимый	Умеренное
0,0003	Свободно ощутимый, умеренной интенсивности	Сильно беспокоит, болезненное, но может быть выдержано
0,0004	Сильный, резкий	Невыносимое, не может быть выдержано
0,0005	Сильный, резкий	Очень сильное, разъедает

Определение концентрации пыли в рудничном воздухе. Имеются два способа определения концентрации пыли: весовой и счетный. Весовой способ основной, а счетный — вспомогательный, дополняющий весовой и часто используемый в научно-исследовательских работах.

При весовом способе известный объем запыленного воздуха пропускают через фильтр, взвешивают навеску пыли на фильтре и устанавливают концентрацию (мг/см^3). Осаждение пыли на фильтре АФА-В-10 и АФА-В-20 ведут на месте работ, взвешивание фильтра — в лабораторных условиях. Для осаждения пыли используют прибор АЭРА, ПИ или другие пробоотборники, действующие на сжатом воздухе или в вакууме.

Для оценки эффективности мероприятий по борьбе с пылью пользуются менее точными методами определения концентрации пыли с использованием приборов П101, ДПВ1 и других, в которых весовая концентрация пыли устанавливается косвенным методом.

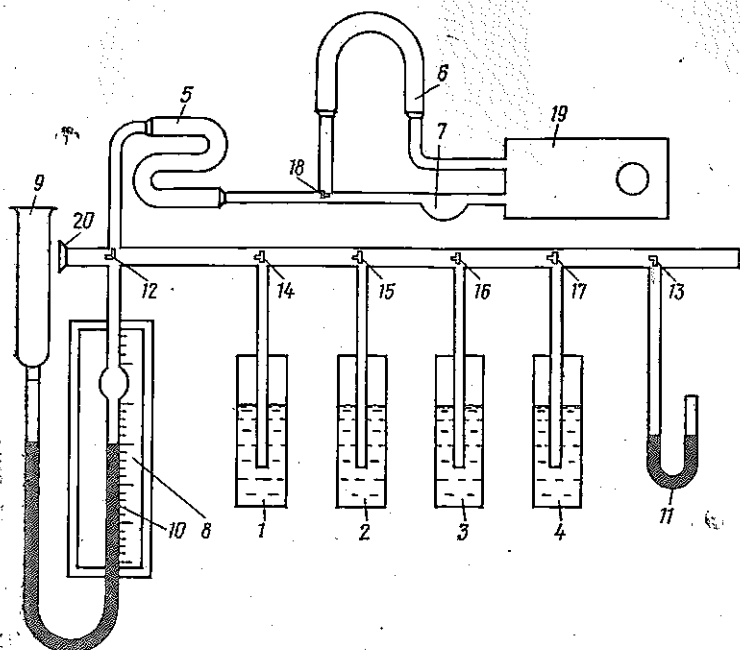


Рис. 6.7. Схема объемно-оптического газоанализатора (ООГ) для определения содержания в пробах воздуха O_2 , CO_2 , CO , CH_4 и H_2 : 1–6 — поглотительные сосуды; 7 — уширение; 8 — измерительная бюретка со шкалой; 9 — наборный сосуд; 10 — затворяющая жидкость; 11 — манометр; 12, 13 — двухходовые краны; 14–18 — трехходовые краны; 19 — интерферометр; 20 — патрубков

Пылепробонаборник индивидуальный (ПИ) (рис. 6.8) позволяет взять пробу непосредственно около работающих и при этом отделить респираторную пыль от крупной. Для этого алонж 1 с фильтром 2 прикрепляется к головке головного светильника 3 и действует здесь в течение смены, находясь таким образом в атмосфере рабочего места.

Кроме этого в пробонаборник ПИ входят: циклон 4, стакан для крупной пыли 5, выходной штуцер 6, защитный колпак 7, кронштейн 8 для подсоединения к светильнику и шланг 9 для подсоединения к насосу. Отдельным блоком представлен сифонный насос для прокачки воздуха и отделения мелкой фракции пыли.

Насос имеет электромагнитный привод, который так же, как и электронные часы, питается от батареи аккумулятора. Анализ фильтра производят в лаборатории.

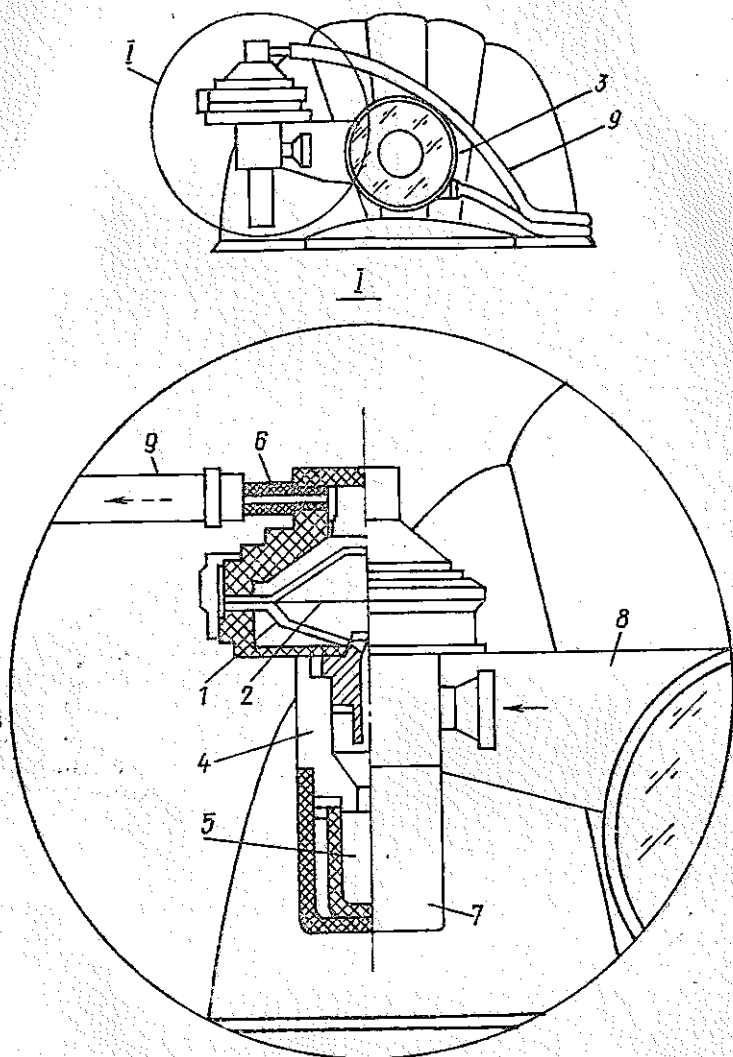


Рис. 6.8. Пылепробонаборник индивидуальный (ПИ):

1 — алонж; 2 — фильтр; 3 — светильник; 4 — циклон; 5 — стакан; 6 — выходной штуцер; 7 — защитный колпак; 8 — кронштейн; 9 — шланг

Индикатор концентрации пыли автоматический (пылемер ИКАР) измеряет в шахтных условиях концентрацию взвешенной пыли различной крупности. Метод измерения — радиомет-

рический с помощью поглощения слоев пыли на ткани ФПП бета-излучений.

Прибор состоит из двух частей — основного блока и измерительного. В основном блоке производится засасывание воздуха и осаждение его на ленте из фильтровальной ткани и расчет числа бета-частиц. В измерительном блоке расположен источник питания, электронное управление и цифровой индикатор. Оба блока связаны кабелем, причем измерительный блок крепится на поясе замерщика. При необходимости в засасываемом воздухе может быть замерена концентрация только тонкодисперсной пыли, для чего на входе воздуха в прибор стоит циклон. Время замера 5—10 с, погрешность прибора около 15%.

Количество пылинок как характеристика опасной запыленности воздуха постепенно заменяется в большинстве стран на практически более удобную весовую единицу. Значение счетных показателей остается очень важным для характеристики дисперсного состава пыли горной породы, отбиваемой новыми горными машинами, санитарно-гигиенических условий труда в забоях и др. Этим целям подчинены научно-исследовательские работы в области обеспыливания рудничной атмосферы шахт и карьеров.

При счетном способе пылинки воздуха из известного объема осаждают на покровное стекло и затем с помощью микропроеекционного аппарата (или микроскопа) пересчитывают и при необходимости определяют их размеры (дисперсный состав). Покровное стекло для лучшего связывания пылинок смазывают 2% раствором пихтового бальзама в ксилоле. Осаждение пылинок может быть произведено механическим путем или под действием гравитационных сил.

В качестве механического седиментатора применяют счетчик пыли СН-2 (струйный НИГРИ-золото) (рис. 6.9). Определенный объем воздуха на покровное стекло 1 подается с помощью поршня 2; создающего разрежение в цилиндре 3 при резком движении в сторону маховика 4. Предварительно при вращении маховика поршень сдвигается влево, растягивая пружину 5. «Зарядку» поршня делают до отметки необходимого объема, протягиваемого воздуха (до 100 см³). При взятии пробы поворотом сбрасывателя 6 пружина освобождается, увлекая поршень.

Прибор для осаждения пылинок под действием гравитационных сил (рис. 6.10) состоит из основания 1 с гнездом 2 для покровного стекла и верхней части 3 со сквозным цилиндром 4 и крышкой 5. В месте отбора пробы цилиндр открывают с двух сторон, продувают исследуемым воздухом, устанавливают на покровное стекло и накрывают крышкой. Затем ча-

стицам пыли дают осесть на дно. Объем цилиндра 50,9 см³.

При подсчете пылинок и определения их дисперсного состава в микроскоп вставляются микрометры, имеющие пере-

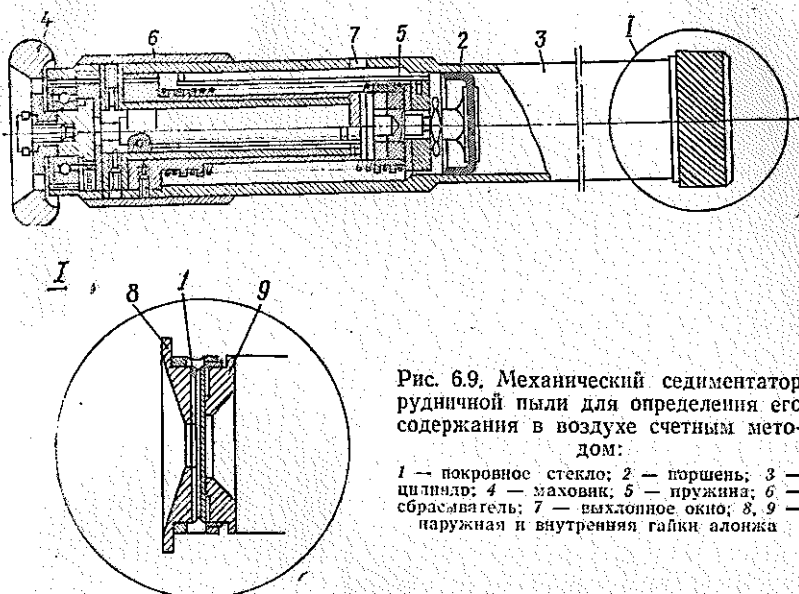


Рис. 6.9. Механический седиментатор рудничной пыли для определения его содержания в воздухе счетным методом:

1 — покровное стекло; 2 — поршень; 3 — цилиндр; 4 — маховик; 5 — пружина; 6 — сбрасыватель; 7 — выходное окно; 8, 9 — наружная и внутренняя гайки алонжа

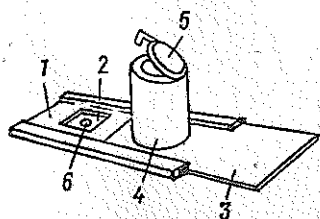


Рис. 6.10. Устройство для осаждения пыли на покровное стекло под действием гравитационных сил:

1 — основание; 2 — гнездо; 3 — верхняя часть; 4 — цилиндр; 5 — крышка; 6 — отверстие для прохода пыльника при вытаскивании покровного стекла

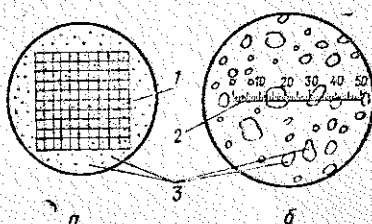


Рис. 6.11. Микрометры микроскопа, используемого для подсчета пылинок:

а — сетчатый микрометр; б — линейный микрометр: 1 — сетчатая часть микрометра для подсчета числа пылинок; 2 — линейная шкала микрометра для определения размеров частиц пыли в поперечнике; 3 — пылинки

ходные масштабы на число и размеры частиц (рис. 6.11).

Число частиц в 1 см^3

$$\Pi_c = M_{\text{ср}} \frac{N \cdot n}{\Theta}, \quad (6.3)$$

где $M_{\text{ср}}$ — среднее число пылинок в одном ряду сетчатой части микрометра;

N — число рядов в сетчатой части;

n — переходный коэффициент;

Θ — объем воздуха, в котором было произведено осаждение пыли на покрывное стекло, см^3 .

Размер пылинок в поперечнике

$$L = e \xi, \quad (6.4)$$

где e — отсчет по микрометру, дел.;

ξ — цена деления линейной части микрометра.

При счетном способе можно пользоваться также фильтрами, отобранными на весовой способ с помощью АЭРА. При этом навеска пыли на фильтре не должна превышать 10 мг. В лаборатории фильтр разрезают вдвое (для контроля), одну половину кладут рабочей поверхностью на предметное стекло и освещают в парах ацетона или дихлорэтана. Время освещения — 5—7 с, температура бани — 70°C . Производят подсчет пылинок и определяют дисперсный состав описанным способом, вычтя из конечного результата аналогичные показатели чистого фильтра.

6.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНСТАНТ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ

Прибор, которым определяют воздействие на человека одновременно всех климатических факторов (температура, влажность, скорость движения воздуха), называется кататермометром.

Кататермометр представляет собой капиллярную трубку, имеющую верхнее уширение и нижний резервуар (рис. 6.12). Очень важны размеры прибора: средняя часть капилляра — 200 мм, высота нижнего резервуара — 40 мм, площадь — 2260 мм^2 . Средняя часть капилляра градуирована на четыре показателя температуры — $35, 36, 37$ и 38°C . Кататермометр помещают в рабочее место, где он измеряет величину собст-

венного охлаждения от совместного действия указанных факторов при средней температуре самого прибора 36°C , т. е. близкой к температуре тела человека.

Резервуар прибора заполнен спиртом. Перед замером кататермометр помещают в термос с температурой не более 80°C и держат там до заполнения спиртом верхнего уширения на $\frac{1}{3}$. Замеры повторяют 3—4 раза. Результаты замеров и подсчетов выражают в катаградусах: сухой — H_c , мокрый — H_m .

Работа с прибором состоит в следующем. Готовый кататермометр выставляют в месте замера и ждут, когда температура в нем понизится с 38 до 35°C . Время снижения температуры фиксируют.

Величина катаградуса

$$H = \frac{F}{t_{\text{ох}}} , \quad (6.5)$$

где F — фактор кататермометра — количество тепла, которое теряет прибор при охлаждении его с температуры 38 до 35°C , м·кал,

$$F = 0,27 \frac{\theta'}{S_{\text{рез}}} ; \quad (6.6)$$

θ' — разность температур тела человека и окружающего воздуха;

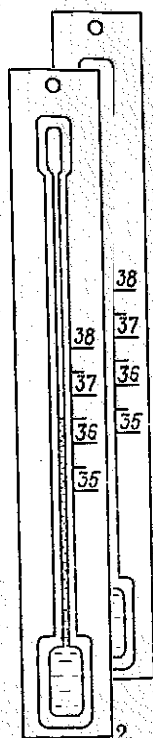
$S_{\text{рез}}$ — площадь резервуара прибора;

$t_{\text{ох}}$ — время охлаждения кататермометра, с.

Таким образом, катаградус — потеря тепла с 1 мм^2 в 1 с . Если замер производят с помощью сухого кататермометра, то определяют потерю тепла (H_c) из-за излучения и конвекции; если с помощью мокрого кататермометра (H_m), то — из-за излучения, конвекции и испарения.

Разность показаний $H_m - H_c$ дает потерю тепла из-за испарения.

Примерные нормы комфорта: для шахты — $6-8 H_c$, для поверхности — $6-10 H_c$ и в зависимости от тяжести выполняемой работы — $18-30 H_m$.



2. Кататермометр для определения одновременного воздействия на человека температуры, влажности и скорости движения воздуха

6.3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВА ПРОХОДЯЩЕГО РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА

Характеристика скорости движения воздуха дает представление о количестве проходящего по выработкам воздуха, утечках и, как отмечалось, о климатических условиях.

Скорость воздуха в шахте и карьере колеблется от нескольких сантиметров в секунду до 15 м/с и более. Малые скорости характерны для просачивания воздуха через перемишки и завалы, большие — для движения в каналах вентиляторов. Малые скорости воздуха можно измерить приборами, определить с помощью эмпирических зависимостей или визуально.

Определение скорости движения воздуха с помощью приборов основано на замерах падения ЭДС из-за охлаждения электронити, находящейся в воздушном потоке. На этом принципе построен выпускаемый для шахт прибор типа *анеометр термоэлектрический* (АТЭ), который позволяет определять скорость воздуха в различных пределах — от 0 до 50 м/с.

Для определения скорости воздуха с помощью эмпирических зависимостей пользуются данными кататермометра. Тогда, соответственно, для скоростей менее и более одного метра

$$V = \left(\frac{\frac{H}{\theta'} - 0,2}{0,4} \right)^2, \quad (6.7)$$

$$V = \left(\frac{\frac{H}{\theta'} - 0,13}{0,47} \right)^2. \quad (6.8)$$

При визуальном методе скорость движения воздуха устанавливается по перемещению одновременно с воздушной струей какого-либо заметного вещества с удельным весом, близким к воздуху. Для этого в первом сечении выработки выбрасывается в струю облако дыма или ароматического вещества, а во втором — на некотором расстоянии фиксируется его прохождение. Скорость воздуха определяется как частное от деления расстояния на время прохождения облака между сечениями. Такой способ неточен, так как облако растягивается и поэтому трудно установить положение его середины во втором сечении.

Средние скорости рудничного воздуха могут быть определены с помощью манометров и анеометров. Манометром

устанавливается скоростной напор воздуха, в выражение которого входит скорость

$$V = \sqrt{\frac{2gh_{\text{ск}}}{\gamma}} \quad (6.9)$$

Подставив в (6.9) известные числовые значения, получим

$$V \cong 4,04 \sqrt{h_{\text{ск}}} \quad (6.10)$$

В подземных выработках для определения средних скоростей воздуха пользуются *крыльчатым анемометром АСО-3*. Особенностью его конструкции является наличие струнной оси. Крыльчатка прибора приобретает легкость вращения, что позволяет замерять скорости в диапазоне 0,3—5 м/с. Регулярно должно производиться тарирование прибора, так как он легко поддается изнашиванию и разрегулированию. Каждый прибор снабжается тарировочным графиком.

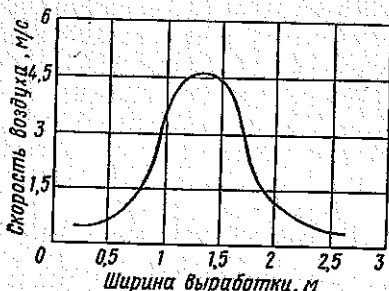


Рис. 6.13. График зависимости скорости движения воздуха от ширины выработки

Профиль скорости воздуха или распределение ее по ширине выработки имеет вид параболы (рис. 6.13).

Скорость в центре выработки больше, чем у боков, поэтому средняя скорость

$$V_{\text{ср}} = KV_{\text{ц}} \quad (6.11)$$

где $V_{\text{ц}}$ — скорость в центре выработки по прибору;

K — коэффициент поля, $K=0,75-0,8$;

Средние скорости могут быть получены более точными способами — обходом сечения и площадок.

При обходе сечения прибор дважды проводят по площади от одного бока к другому и от кровли к почве. При втором способе сечение выработки визуально разбивается на ряд площадок, для каждой из которых находится $V_{\text{ц}}$ и затем устанавливается $V_{\text{ср}}$ выработки как средневзвешенная величина.

При обходе необходимо следить за положением туловища замерщика, держащего прибор перед собой.

Если замерщик встал лицом к потоку воздуха, то истинное значение скорости

$$V_{\text{ист}} = K_1 V_{\text{зам}} \quad (6.12)$$

где $V_{\text{зам}}$ — замеренная скорость;

K_1 — поправочный коэффициент, учитывающий снижение скорости в месте замера из-за туловища замерщика, являющегося местным сопротивлением, $K_1=1,14$.

Если замерщик встал боком к потоку, то поправочный коэффициент ($K_2=0,8—0,95$) меньше единицы, так как скорость воздуха увеличивается из-за уменьшения площади сечения выработки в месте нахождения туловища замерщика.

Тогда

$$K_2 = \frac{S - 0,4}{S}, \quad (6.13)$$

где S — сечение выработки;

0,4 — средняя площадь, приходящаяся на туловище замерщика.

Для замеров относительно больших скоростей применяют *анемометры МС-13 и АРИ-49*. Первый анемометр в отличие от АСО-3 является чашечным, второй — индукционным.

Действие АРИ-49 основано на измерении угловой скорости вращения трехчашечной метеорологической вертушки методом электрического индукционного тахометра. Прибор непосредственно показывает скорость воздуха в точке в пределах 2—30 м/с.

Определение средних и больших скоростей воздуха можно производить, как указывалось с помощью *термоэлектрического анемометра АТЭ-3*. В приборе питания охлаждающих элементов (термопар) производится отдельно источником постоянного тока.

Стационарным прибором для автоматического контроля количества воздуха в шахте является АҚВ-2П. Аппаратура электронная, состоит из релейного блока и секции с мембранным контактным датчиком. Она может включаться в сеть вентилятора местного проветривания. При аварии (остановка вентилятора или порыв трубы) вследствие уменьшения давления в трубе срабатывает датчик. Лампы сигнализируют об остановке вентиля-

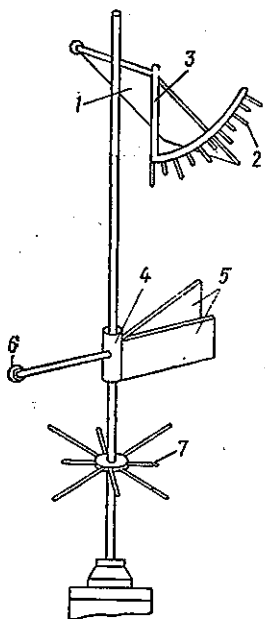


Рис. 6.14. Флюгер для определения скорости и направления ветра в карьере:

1 — подвижная доска; 2 — штифты-указатели; 3 — рама с дугой; 4 — втулка; 5 — лопасти; 6 — противовес; 7 — указатель румбов

тора и последующем (через 15 с) автоматическом отключении забойного оборудования.

В карьере для определения скорости и направления движения ветра применяют двухосный флюгер (рис. 6.14). Для измерения скорости служит подвижная доска 1 и штифты-указатели 2. Воздушная струя отклоняет доску, при этом один край доски двигается вдоль рамы с дугой 3, на которой закреплено 11 штифтов. Визуально наблюдаемое положение доски (качание) относительно штифтов позволяет установить скорость ветра в пределах 0—40 м/с (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Качание доски флюгера		Скорость ветра, м/с, при доске весом, г	
около штифта	между штифтами	200	800
0		0	0
1	0—1	1	2
		2	4
2	1—2	3	6
		4	8
3	2—3	5	10
		6	12
4	3—4	7	14
		8	16
5	4—5	9	18
		10	20
6	5—6	12	24
		14	28
7	6—7	17	37
		20	40
Выше 7		Более 20	Более 40

Для измерения направления ветра служит подвижная втулка 4 с лопастями 5 и противовесом 6, расположенная над неподвижными указателями румбов 7.

6.4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ВОЗДУХА

Давление движущегося воздуха, т. е. депрессия $h_{ст}$, h_n и $h_{ск}$, может быть найдено в воздуховоде, по которому движется струя воздуха от всасывающего а и нагнетательного б вентилятора, если изогнутую трубку, наполненную замерной жид-

костью, с открытыми концами подсоединять к трубопроводам, как показано на рис. 6.15.

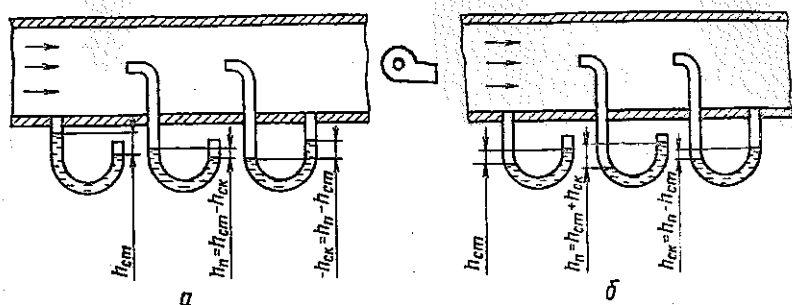


Рис. 6.15. Подсоединение депрессиометра к трубопроводу при замерах давления движущегося воздуха:

а — во всасывающем трубопроводе; б — в нагнетательном трубопроводе

При этом статическая депрессия $h_{ст}$ есть разница между давлением вентилятора и атмосферного воздуха; полная депрессия h_n — разница между алгебраической суммой статической депрессии $h_{ст}$ и скоростного напора $\pm h_{ск}$ и давлением атмосферного воздуха; скоростной напор $\pm h_{ск}$ — разница между полной h_n и статической $h_{ст}$ депрессиями.

Знак «—» у скоростного напора относится к трубопроводу со всасывающей струей, когда по ходу ее разрежение возрастает, знак «+» — к трубопроводу с нагнетательной струей.

Депрессия может быть замерена различными способами: а) с помощью прибора и одного небольшого отрезка резинового шланга; б) прибора и отрезков шланга по длине между замерными сечениями; в) прибора, шланга и трубки Пито; г) самописца и др.

В качестве приборов для определения депрессии применяются барометры, микроманометры и депрессиометры. Микроманометры за счет наличия трехходового крана, уровней и тщательного выполнения позволяют производить точные замеры, что особенно важно при лабораторных исследованиях.

Депрессиометры выполняются с записывающим устройством. В автоматизированных шахтах используются датчики давления высокой чувствительности и точности, имеющие выходной электрический параметр.

Депрессиометр Комарова—Гескина (рис. 6.16) состоит из сосуда Дюара 1, заполненного льдом 2, в который вставлена колба 3 с двумя выходами. Первый выход 4 соединяет свобод-

ное пространство колбы с наружным воздухом, он имеет кран *А*. Второй выход *Б* соединяет пространство колбы, заполненное керосином *Б*, с наружным воздухом. Эта трубка *Г* изогнута. Заполненная керосином по принципу сообщающихся сосудов, она служит манометром. У нее имеется кран *Б*.

При закрытых кранах *А* и *Б* в колбе при $t=0^{\circ}\text{C}$ устанавливается постоянное давление. Поэтому подсоединив шланг к крану *А* и выведя его второй конец к замерному месту, получим на манометре депрессию.

Депрессиометр простой представляет собой изогнутую *U*-образную трубку *1* с жидкостью, закрепленную на шкале *2* (рис. 6.17). Используя шланг *3*, один конец депрессиометра присоединяется к каналу *4* вентилятора, а другой выводится в атмосферу. При этом получим депрессию, или напор вентилятора в даПа.

В *депрессиометре-самописце* основной частью является кольцевая

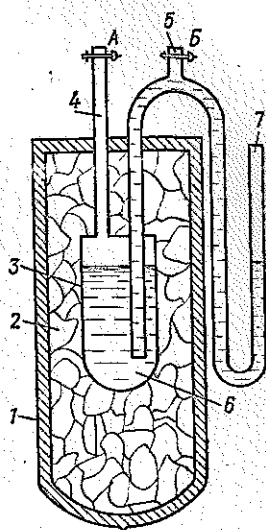
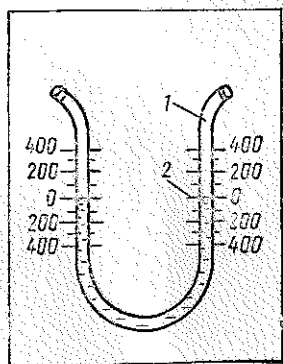
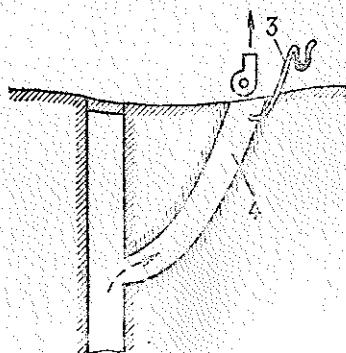


Рис. 6.16. Схема депрессиометра Комарова—Гескина:

1 — сосуд Дюара; *2* — крышка; *3* — колба; *4* — первый выход; *5* — второй выход; *6* — керосин; *7* — манометр; *А*, *Б* — краны депрессиометра



а



б

Рис. 6.17. Использование простого депрессиометра:

а — общий вид прибора: *1* — изогнутая трубка; *2* — шкала; *б* — замер давления воздуха в канале вентилятора: *3* — шланг; *4* — канал вентилятора

трубка 1, заполненная жидкостью (рис. 6.18). Свободное пространство трубки герметически разделено на две полости. Если полости соединить с точками, имеющими разное давление, то трубка повернется на центральной оси, а значение депрессии с помощью передаточного механизма 3 будет обозначено стрелкой на шкале 4.

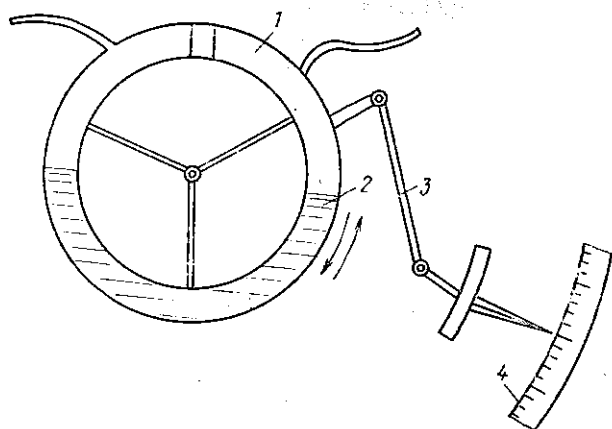


Рис. 6.18. Схема депрессиометра-самописца:
1 — кольцевая трубка; 2 — жидкость; 3 — передаточный механизм; 4 — шкала

Замеры h_e депрессии естественной тяги основываются на существовании процесса, появлении движения воздуха за счет разности веса столбов воздуха, находящегося в вертикальных или наклонных выработках. Поэтому депрессиометр, опущенный в канал вентилятора, депрессии естественной тяги не замерит. Она может быть определена только с учетом столбов воздуха в стволах шахты, причем специальной аппаратуры для этого не требуется. Используются обычные депрессиометры и микроманометры.

Депрессию естественной тяги в целом по шахте можно замерить около двери или перемычки, специально возведенной в выработке с общешахтной струей (рис. 6.19). Вентилятор отключается; замер производится в короткий промежуток времени, так как в противном случае может произойти выравнивание температуры в стволах.

Давление в точках 1 и 2

$$P_1 = 13,6 P_0 + \gamma_1 H - \gamma_2 H_{св}. \quad (6.14)$$

$$P_2 = 13,6 P_0 + \gamma_2 H_{ег}, \quad (6.15)$$

где

P_0 — атмосферное давление;

γ_1 и γ_2 — удельные веса воздуха в стволах;
 H , H_{EF} и H_{CD} — перепады высот выработок.

$$H_{EF} + H_{CD} = H. \quad (6.16)$$

Тогда

$$h_e = \gamma_1 H - \gamma_2 (H_{CD} + H_{EF}) = H(\gamma_1 - \gamma_2). \quad (6.17)$$

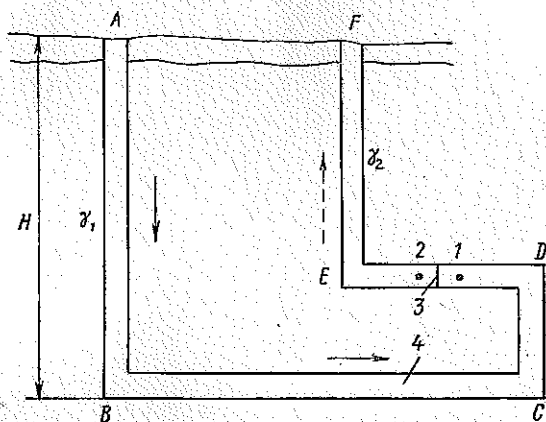


Рис. 6.19. Схема к определению h_e в выработке с общешахтной струей при отключении вентилятора и возведения перемычки:

1, 2 — точки замера; 3 — перемычка; 4 — выработка с общешахтной струей

Как видно из приведенного расчета, общешахтная струя может быть перекрыта в любом месте. Поэтому для определения h_e достаточно перекрыть канал 1 вентилятора шибером 2 и замерить давление, как показано на рис. 6.20.

Для определения h_e выработки между сечениями I—I и II—II в последних устанавливаются трубки Пито 1, от которых статические шланги 2 подсоединяются к микроманометру 3 (рис. 6.21).

Давление в сечениях при остановленном вентиляторе

$$P_{1-1} = 13,6 P_0 + \gamma_1 H - R_1 Q_e^2. \quad (6.18)$$

$$P_{2-2} = 13,6 P_0 + \gamma_2 H - R_2 Q_e^2, \quad (6.19)$$

где R_1 и R_2 — аэродинамическое сопротивление стволов.

Третий член многочленов представляет собой потерю давления столба в стволе из-за движения воздуха в результате естественной тяги.

Тогда

$$h_{e,1-2} = h_e - (R_1 + R_2) Q_e^2. \quad (6.20)$$

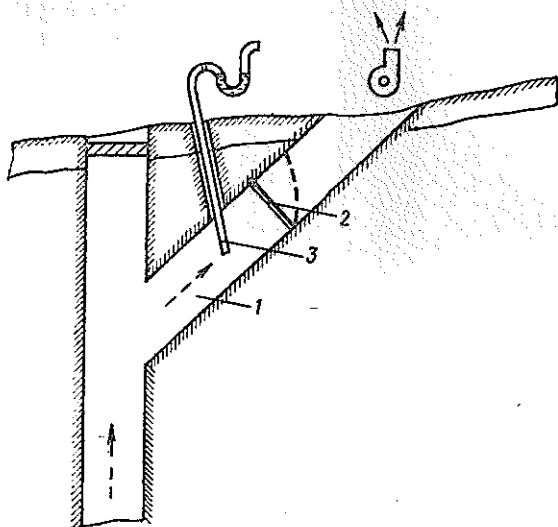


Рис. 6.20. Схема к определению h_c в канале при перекрытии его шибером и остановке вентилятора:
1 — канал вентилятора; 2 — шибер; 3 — гибкая трубка депрессномера

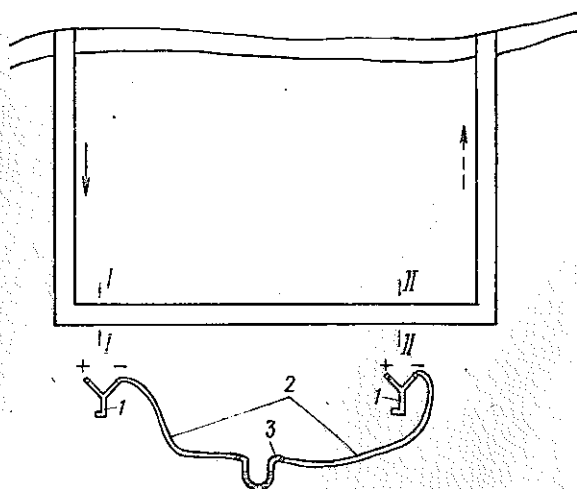


Рис. 6.21. Схема к определению h_c между двумя сечениями выработки с общешахтной струей с применением микроманометра и трубки Пито:

1 — трубка Пито; 2 — статические шланги; 3 — микроманометр

Значение $h_{e,1-2}$ покажет микроманометр. Разница в значениях $h_{e,1-2}$ зависит только от Q_e .

Депрессию h_e можно замерить без перемычек, если шланги депрессиометра расположить от устьев стволов по всей длине выработок. Удельный вес воздуха в трубках и стволах должен быть одинаков (рис. 6.22).

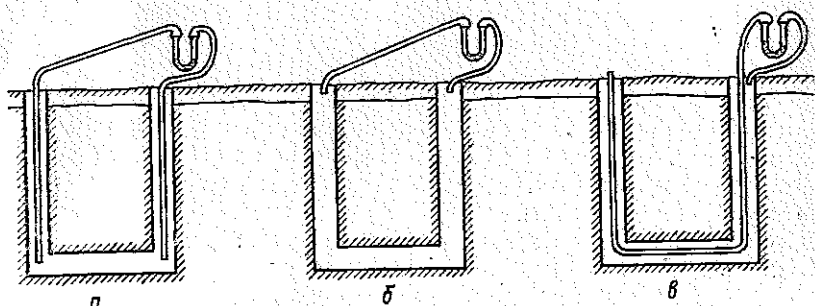


Рис. 6.22. Схемы к определению h_e с помощью простого депрессиометра и длинных шлангов:

а — шланги депрессиометра опущены на дно каждого ствола; *б* — оба шланга находятся в устье стволов; *в* — один шланг пропущен через всю шахту, второй находится у устья правого ствола.

На рис. 6.22, *а* и *б* депрессия h_e получается непосредственно на трубке, в случае *в* — как разница между суммой давлений столбов в стволах и давлением столба в правом стволе.

При другом способе производят замер Q_e (при отключенном вентиляторе), h_m и Q_m (при работающем вентиляторе). Сопротивление шахты и депрессию естественной тяги h_e находят с помощью решения системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} R_m Q_m^2 &= h_m + h_e \\ h_e &= R_e Q_e^2 \end{aligned} \right\}. \quad (6.21)$$

6.5. ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ УЧАСТКОМ ВЕНТИЛЯЦИИ И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПО КОНТРОЛЮ ЗА РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРОЙ

В шахтах организована постоянная пылевентиляционная служба при участке ВТБ. В карьерах такая служба создается при выделениях ядовитых газов и наличии свободной окиси кремнезема. При отсутствии ее в карьерах функции контроля за состояние атмосферы возлагаются на отдел техники безо-

пасности. ВТБ придерживается ПБ и инструкций. Результаты работы заносятся в специальные журналы.

Задачами ВТБ являются: контроль за соблюдением пылегазового режима, составом атмосферы и обеспечение очистных забоев необходимым количеством воздуха; наблюдение за вентиляторами и проверка реверсивных устройств.

Для решения поставленных задач ВТБ производит следующие основные работы:

а) составляет вентиляционные планы и планы ликвидации аварий (см. также п. 16);

б) определяет категорийность шахты;

в) проводит депрессионные и анемометрические съемки.

ВТБ выполняет контрольные функции в нормальные для работы дни, а также принимает участие в спасении людей при авариях и разработке мероприятий по их предупреждению и устранению. Вентиляционный надзор имеет право остановить работы в случае нарушений ПБ, правил газового и пылевого режимов (см. п. 12).

Вентиляционный план представляет собой схему выработок с указанием направления движения воздуха и вентиляционных сооружений, входит составной частью в план ликвидации аварий.

Установление категорийности (или проверка) шахты по газу производится ежегодно в июне—июле, т. е. когда естественная тяга максимально препятствует работе вентилятора. Установление категорийности заключается в определении относительной газообильности основных очистных выработок, крыла и шахты в целом. Содержание газов определяется путем отбора и последующего анализа проб воздуха в лаборатории военизированной горно-спасательной части (ВГСЧ).

Пробы отбираются в начале, середине и конце месяца в нормальные дни работы шахты с учетом максимального газо выделения. В течение суток берут по одной пробе в смену.

Порядок расчета состоит в следующем:

определяют среднесуточные абсолютные газообильности выработок в местах замера;

при нескольких главных вентиляторах абсолютную газообильность исходящей шахты принимают как сумму среднесуточных газообильностей отдельных вентиляторов;

устанавливают относительную газообильность выработок в местах замера по максимальной абсолютной газообильности из трех месячных замеров

$$q_{CH_4} = 60 \cdot 24 \cdot m \frac{Q_{CH_4 \max}}{T}, \quad (6.22)$$

где m — число рабочих дней в месяце;

T — месячная добыча очистного участка, пласта или шахты в зависимости от места замера;
 $Q_{CH_4 \max}$ — максимальная среднесуточная абсолютная газообильность участка, пласта или шахты, m^3/min ,

$$Q_{CH_4 \max} = \frac{Q_1 p_1 + Q_2 p_2 + Q_3 p_3}{3 \cdot 100}; \quad (6.23)$$

Q_1, Q_2 и Q_3 — количество воздуха, проходящего через замерные пункты при отборе проб в смены;
 p_1, p_2 и p_3 — процентное содержание газа в пробах.

Категория шахты устанавливается по относительной газообильности наиболее газоносного пласта, а последняя — по газообильности наиболее газоносного участка.

Депрессионную съемку проводят с различной периодичностью, которая зависит от величины эквивалентного отверстия шахты, но не чаще одного раза в год. Во время съемки определяют депрессию выработок, участков, блоков и т. д. с целью установления трудных для проветривания мест. Результаты наносят на депрессиограмму, из которой видно, в каких выработках шахты происходят большие потери напора (рис. 6.23).



Рис. 6.23. Депрессиограмма шахты:
 1, 2, 3, 4, 5 — потеря напора в стволе, квершлагае, штреке, лаве и вентиляционном штреке соответственно

Съемку можно производить барометром-анероидом, микроманометром и другими приборами. В выбранном маршруте выработок обязательно должны быть высотные отметки; в месте замера делают зарисовки крепи и определяют сечение выработки.

Барометр-анероид применяют для депрессионной съемки, которую производит бригада из 2—3 чел. Для исключения

влияния температуры прибор устанавливают за 20 мин до замера. Депрессию между двумя замерными пунктами в выработке определяют по выражению

$$h = B_1 - (B_2 \pm \gamma_{\text{cp}} H) - (B'_k - B''_k) + \frac{V_1^2 \gamma_1 - V_2^2 \gamma_2}{2}, \quad (6.24)$$

где B_1 и B_2 — барометрическое давление в замерных пунктах;

γ_1 и γ_2 — плотность воздуха в замерных пунктах

$$\gamma = 0,4547 \frac{B}{273 + t} \quad (6.25)$$

и

$$\gamma_{\text{cp}} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2};$$

t — температура воздуха в замерном пункте;

H — разность высотных отметок, м;

$\pm \gamma_{\text{cp}} H$ — поправка на высотную отметку: «+» — при восходящем потоке воздуха, «—» — при нисходящем;

B'_k и B''_k — барометрическое давление на поверхности шахты в моменты определения давления воздуха в замерных пунктах;

$-(B'_k - B''_k)$ — поправка на колебание атмосферного давления: «+» — при увеличении давления, «—» — при уменьшении.

Пример. Определить депрессию воздуха в подающем стволе (рис. 6.24).

Данные точки 1: $B_1 = 962$ гПа, $B'_k = 962$ гПа, высотная отметка +535 м, $t_1 = 5^\circ \text{C}$ и $V_1 = 0$.

Данные точки 2: $B_2 = 993$ гПа, $B''_k = 965$ гПа, высотная отметка +235 м, $t_2 = 10^\circ \text{C}$, $V_2 = 4$ м/с.

Тогда

$$\gamma_1 = 11,9 \text{ Н/м}^3, \gamma_2 = 11,8 \text{ Н/м}^3, \gamma_{\text{cp}} = 11,85 \text{ Н/м}^3, \\ \gamma_{\text{cp}} H = 35,5 \text{ гПа и}$$

$$h = 962 - (993 - 35,5) - (962 - 965) + \frac{0 - 16 \cdot 11,8}{2 \cdot 9,81 \cdot 10} =$$

$$= 6,54 \text{ гПа} = 65,4 \text{ даПа.}$$

Полученная величина — депрессия ствола.

Анемометрическая, или воздушная, съемка производится в шахтах и карьерах. Она позволяет установить количество воздуха, его соответствие расчетным данным и определить утечки.

В карьерах потоки воздуха непостоянны по величине и направлению, поэтому при съемках необходимо отмечать характеристики ветра: порывистый (или ровный), часто меняющий направление и т. д.

В шахте установленные количества воздуха должны быть приведены к одним условиям по давлению и температуре. Тогда истинное количество воздуха

$$Q_n = K Q_{\text{зам}}, \quad (6.26)$$

где $Q_{\text{зам}}$ — замеренное количество воздуха;
 K — переводной коэффициент

$$K = \frac{B T_0}{B_0 T}; \quad (6.27)$$

B_0 и T_0 — давление и абсолютная температура, к которым приводится установленное количество воздуха;

B и T — давление и абсолютная температура воздуха в месте замера.

Для получения общешахтного баланса воздуха неточные замеры повторяют с добавлением контрольных замеров в соседних выработках. Конечное расхождение между расчетным и установленным количеством воздуха разбрасывают по отдельным выработкам пропорционально количеству проходящего по ним воздуха.

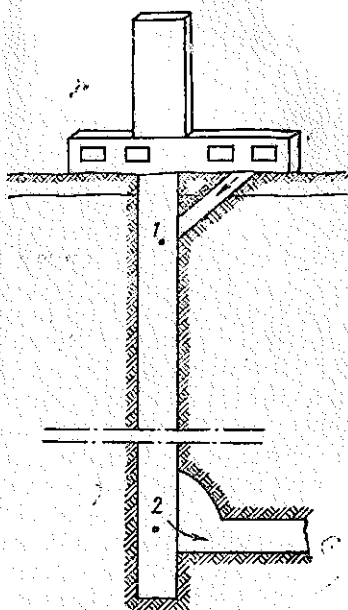


Рис. 6.24. Точки замера депрессии в подающем стволе

7. ВЕНТИЛЯЦИЯ И ГОРНЫЕ РАБОТЫ

7.1. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ И КАРЬЕРОВ

Системой проветривания называется способ искусственного приведения в движение воздуха в горных выработках: всасывающий, нагнетательный или комбинированный.

Всасывающий способ проветривания является наиболее безопасным для газовых шахт, так как при аварии с вентиляторами давление воздуха в забоях повышается, что способствует, как было отмечено, меньшему газовыделению (см. п. 1.3.7, рис. 1.3). При этом способе легче осуществляется герметизация надшахтного здания.

Нагнетательный способ проветривания имеет также ряд положительных сторон, особенно при проветривании верхних горизонтов. Происходит уменьшение утечек воздуха через выработанное пространство и подсоса с поверхности.

Комбинированный (нагнетательно-всасывающий) способ проветривания обеспечивает в забое давление воздуха, близкое к атмосферному, при этом в целом требуется меньше воздуха и времени на осуществление реверсии вентиляторов. Недостатки способа те же, что и при нагнетательном проветривании, и связаны с высокими затратами на герметизацию надшахтных зданий.

Под схемой проветривания следует понимать определенное расположение подающих и вентиляционных выработок, обеспечивающих эффективную вентиляцию (или воздухообмен) рабочих мест на шахте (или в карьере). Существуют *общешахтные* и *участковые схемы проветривания*. Первые охватывают все выработки шахты, вторые — подготовительные и очистные забои. Общешахтные схемы подразделяются на центральную, фланговую и комбинированную.

При *центральной схеме проветривания* подающий и вентиляционный стволы, называемые центрально-сдвоенными (рис. 7.1), располагаются в центральной части шахтного поля. Атмосферный воздух входит и выходит из шахты в центральной части поля. Такую схему называют П-образной. Название символическое, однако оно наглядно показывает, что в пределах шахтного поля существует движение свежей и исходящей струй в параллельных выработках, например в уклоне и ходке.

К достоинствам данной схемы относятся более короткие сроки проходки стволов и начала эксплуатации шахты, простота реверсирования.

Недостатками центральной схемы проветривания являются: удлинение струй у границ шахтного поля, значительное из-

менение депрессии при удалении горных работ от стволов, увеличение утечек воздуха через выработанные пространства и в выработки с исходящей струей.

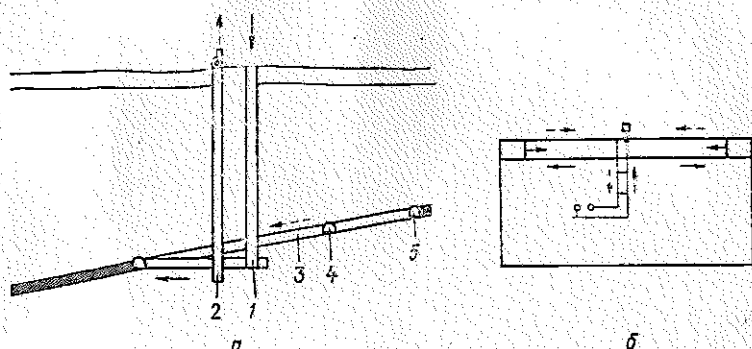


Рис. 7.1. Центральная схема проветривания шахты:

а — разрез по падению; 1 — подающий ствол; 2 — вентиляционный ствол; 3 — ходок; 4 — этапный откаточный штрек; 5 — этапный вентиляционный штрек; *б* — план горных работ

При фланговой схеме проветривания подающий и вентиляционный стволы находятся, соответственно, в центре шахтного поля и на фланге, вследствие чего струи воздуха после очистного забоя не меняют направления на обратное (рис. 7.2). Такое проветривание называется Z-образным.

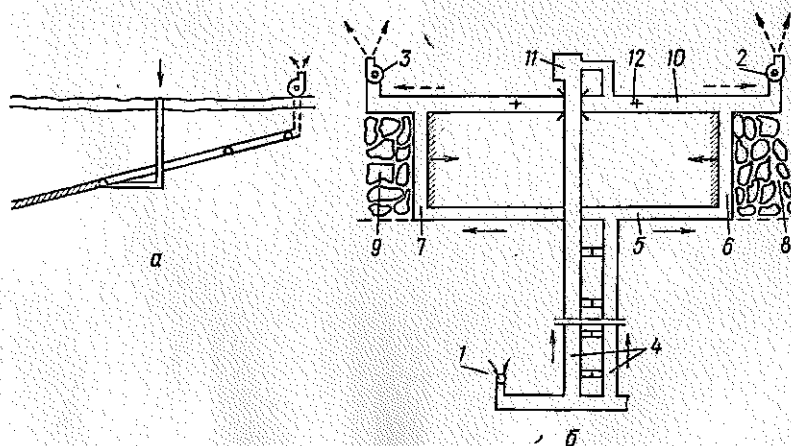


Рис. 7.2. Фланговая схема проветривания шахты:

а — разрез по падению; *б* — план горных работ; 1 — подающий ствол; 2, 3 — фланговые вентиляционные стволы; 4 — бремсберг с лодком; 5 — откаточный штрек; 6, 7 — очистные забои; 8, 9 — выработанное пространство этажа; 10 — этапный вентиляционный штрек; 11 — камера лебедки; 12 — дверь с вентиляционным окном

К Z-образному проветриванию относится также *центрально-отнесенная схема*, при которой вентиляционный ствол находится на верхней границе шахтного поля в разрезе по падению (рис. 7.3).

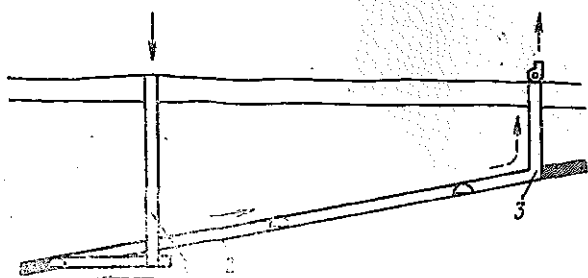


Рис. 7.3. Центрально-отнесенная схема проветривания шахты:
1 — подающий ствол; 2 — бремсберг; 3 — вентиляционный ствол

Достоинства фланговой схемы: более эффективное проветривание забоев и высокая безопасность работ, так как исходящая струя не идет рядом с поступающей струей.

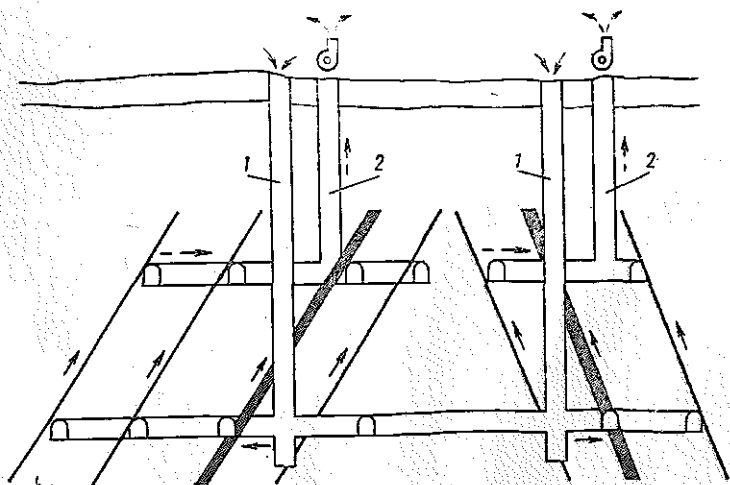


Рис. 7.4. Блочная схема проветривания шахты:
1 — блочный подающий ствол; 2 — блочный вентиляционный ствол

Схема имеет ряд недостатков: возможно влияние друг на друга фланговых стволов, большие затраты на проходку стволов, увеличение срока подготовки шахтного поля.

Комбинированные схемы проветривания, объединяющие центральные и фланговые схемы, характерны для крупных шахт, блочной схемы вскрытия шахтного поля и т. д. (рис. 7.4). Достоинства схем: возможность получения более низкой депрессии в блоках шахтного поля, хорошее распределение воздуха по выработкам, безопасность работ; недостатки — сложность вентиляционной схемы в целом и трудность управления ею.

Участковые схемы проветривания очистных и подготовительных забоев зависят от системы разработки. Схемы изменяются от простых параллельных соединений до комбинированных и сложных. Особое внимание уделяется схемам для шахт, опасных по газу и пыли, внезапным выбросам, проветривания блоков после массового взрыва. Примеры участковых схем проветривания на угольной и рудной шахтах даны на рис. 7.5 — 7.8.

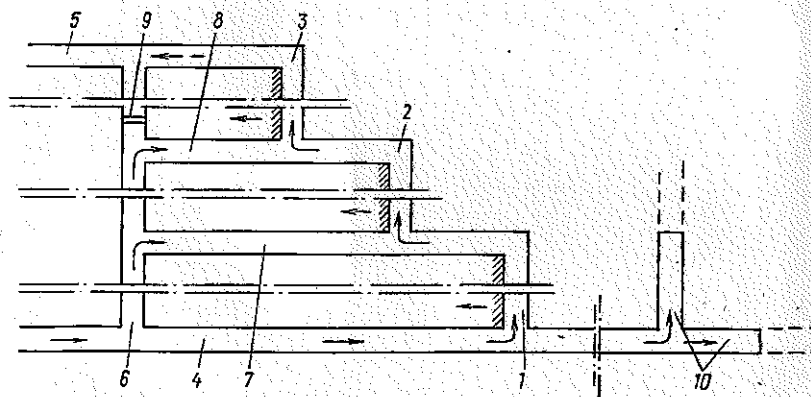


Рис. 7.5. Участковая схема проветривания лав этажа, отработываемого с делением на три подэтажа:

1, 2, 3 — лавы; 4, 5 — откаточный и вентиляционный штреки; 6 — участковый бремсберг; 7, 8 — промежуточные конвейерные штреки; 9 — перемычка; 10 — подготовительные выработки нового выемочного поля

Карьеры проветриваются за счет ветра, естественной тяги и искусственно. Естественному воздухообмену в карьерах СССР способствует небольшое количество штилевых дней (около 10—15%) и наличие деятельного ветряного потока. Средняя скорость ветра в году равна 3—4 м/с.

Эффективность проветривания зависит от глубины карьера, угла откосов бортов, технологии работ и направления ветра.

Различают следующие схемы проветривания карьеров с помощью ветра.

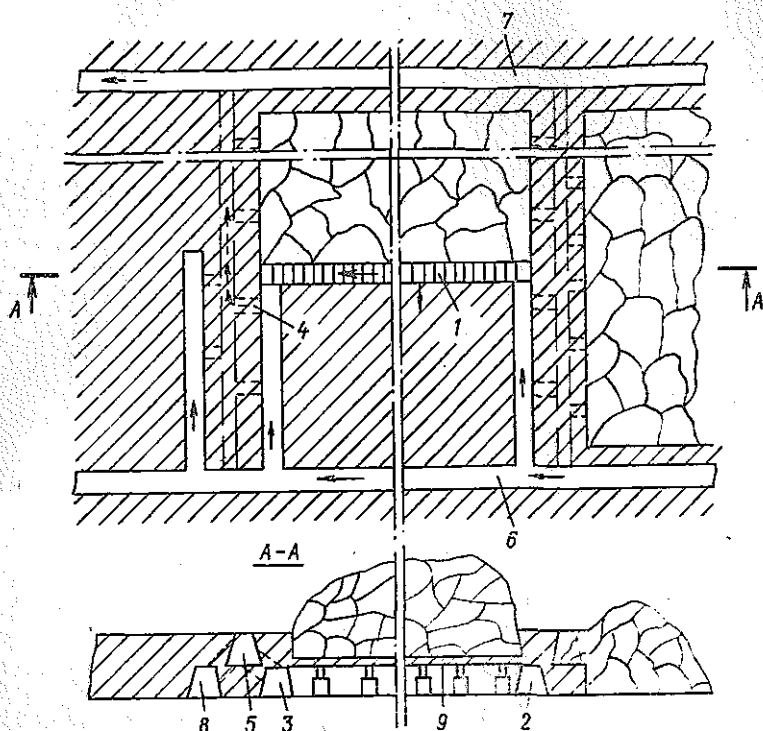


Рис. 7.6. Участковая схема проветривания лавы нижнего слоя при двух-слоевой разработке весьма мощного газоносного пласта:

1 — лава; 2 — подающая печь; 3 — конвейерная печь с подсушающей струей; 4 — вентиляционная сбойка; 5 — вентиляционная печь (бывшая конвейерная верхнего слоя); 6, 7 — откаточный и вентиляционный штреки; 8 — проходка подающей печи в новой секции; 9 — междуслоевая пачка угля

Прямоточная схема характерна для углов откоса борта карьера не более 15° . Ветер, срывающийся с поверхности, прямым течением попадает в уступы, за исключением небольших завихрений (рис. 7.9). Прямоточная схема примерно в 2—3 раза эффективнее рециркуляционной.

Рециркуляционная схема характеризуется углом откоса борта более 15° (рис. 7.10). При этой схеме прямолнейные потоки ветра находятся в верхних слоях атмосферы карьера, в нижних — имеются обратные, или рециркуляционные, потоки, которые попадают в рабочие уступы.

В уступах в результате действия рециркуляционных потоков происходит образование турбулентного движения воздуха. Вынос газов по сравнению с прямоточной схемой более замедленный главным образом из-за обратного действия скорости ветра, выходящего из зон рециркуляции в верхние слои.

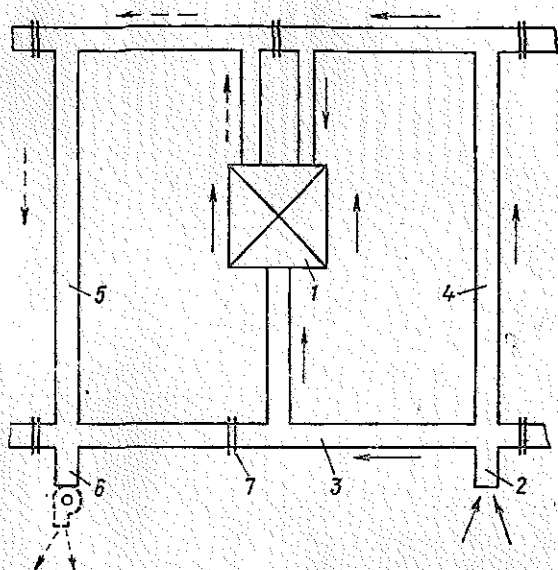


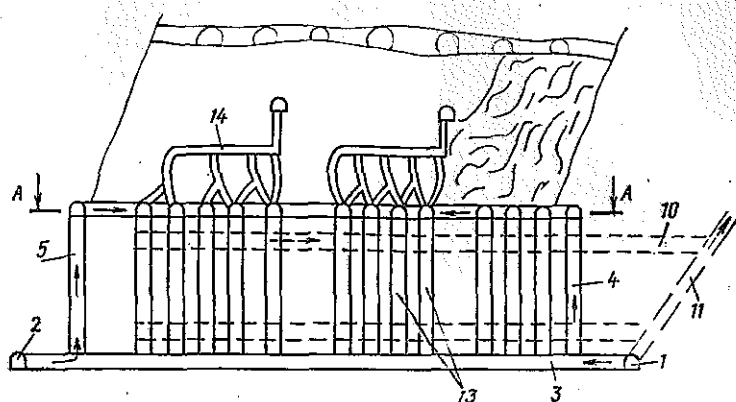
Рис. 7.7. Условная участковая схема проветривания очистного блока рудной шахты после массового взрыва:

1 — блок; 2 — подающий ствол; 3, 4 — выработки, по которым обеспечивается подача воздуха в блок со стороны лежащего и висячего боков рудного тела; 5 — выработка, по которой производится отвод исходящей струи; 6 — вентиляционный ствол; 7 — обозначение автоматических вентиляционных дверей, обеспечивающих необходимое направление общешахтной струи

Углы откосов более 15° имеет большинство карьеров. В глубоких карьерах при этой схеме возможно образование на дне неветриваемых зон. Объем зон может возрастать до 50% объема карьера.

К схемам проветривания карьеров за счет естественной тяги относятся следующие.

Конвекционная схема характерна для дневного времени, когда воздух, находящийся в карьере, нагревается быстрее наружного и поднимается по бортам карьера к мас-



A-A

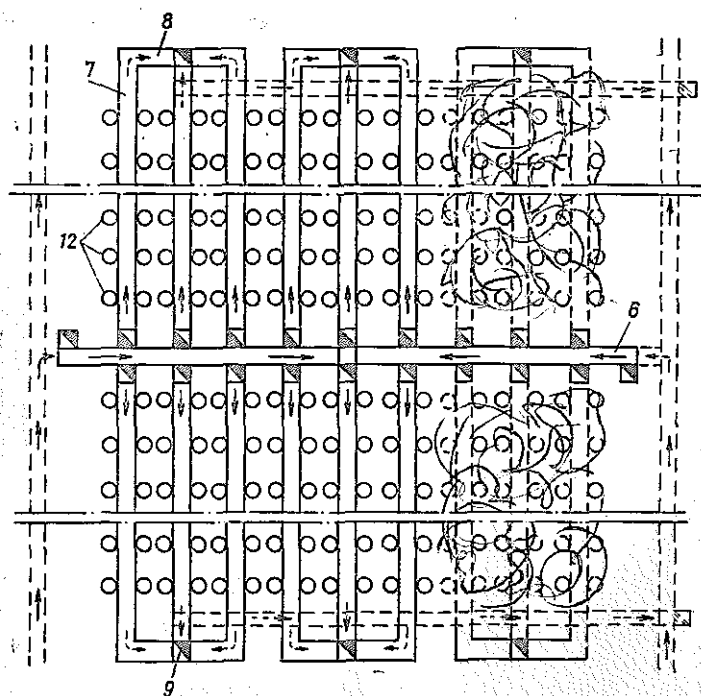


Рис. 7.8. Участковая схема проветривания выработок горизонта грохочения очистного блока рудной шахты:

1 — откаточный подающий штрек лежащего бока, 2 — подающий штрек висячего бока; 3 — откаточный орт; 4, 5 — материалы подающие гезенки; 6 — хозяйственный орт; 7 — штрек скреперования; 8 — вентиляционная сбойка; 9 — вентиляционный гезенк; 10 — вентиляционный орт; 11 — вентиляционный восстающий; 12 — дучки; 13 — рудоспуски; 14 — буровой горизонт, проветриваемый с помощью ВМП



Рис. 7.9. Прямоточная схема проветривания карьера с помощью энергии ветра:

1 — рабочий борт; 2 — нерабочий борт; 3 — вихревое движение воздуха в забое

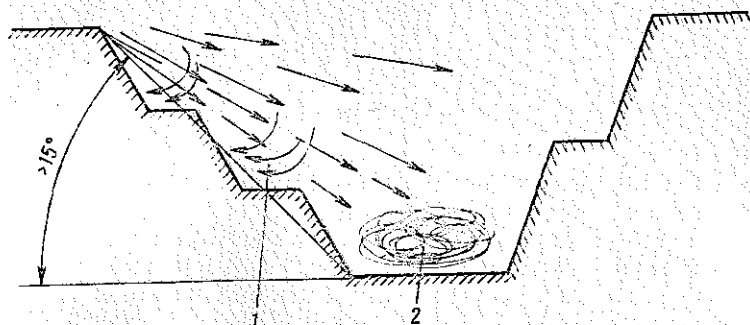


Рис. 7.10. Рециркуляционная схема проветривания карьера с помощью энергии ветра:

1 — рециркуляция воздушного потока в забое; 2 — непроветриваемая зона

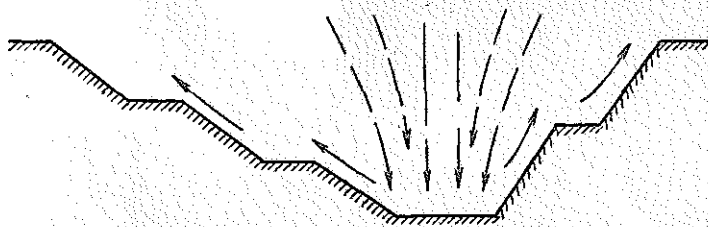


Рис. 7.11. Конвекционная схема проветривания карьера за счет естественной тяги

сам более холодного воздуха, обеспечивая воздухообмен (рис. 7.11).

Инверсионная схема применяется в ночное время, когда более холодный наружный воздух бортами карьера спускается вниз, вытесняя из карьера более теплый воздух (рис. 7.12). Теплый воздух поднимается в середине карьера, в

результате чего температура воздуха растет снизу вверх, образуя инверсию. В инверсионном режиме проветривания на дне карьера могут скапливаться газы, опускаемые вниз наружным воздухом.

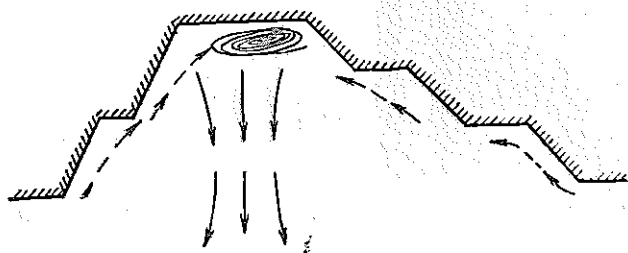


Рис. 7.12. Инверсионная схема проветривания карьера за счет естественной тяги

К схемам искусственного проветривания карьеров при недостаточности естественного воздухообмена относятся применение главным образом вентиляторов местного проветривания и искусственной инверсии.

Местные вентиляторы должны быть высоконапорными. Подача воздуха в забой производится свободной струей. Такое проветривание в 10—12 раз эффективнее нагнетательного и в 20—25 раз — всасывающего по трубам. ВМП применяются с трубами в том случае, если они подвешены на аэростатах и работают на всасывание.

Вентиляторы одновременно проветривают несколько уступов. Их устанавливают индивидуально или группами. При групповом проветривании вентиляторы работают последовательно, параллельно или смешанно (рис. 7.13).

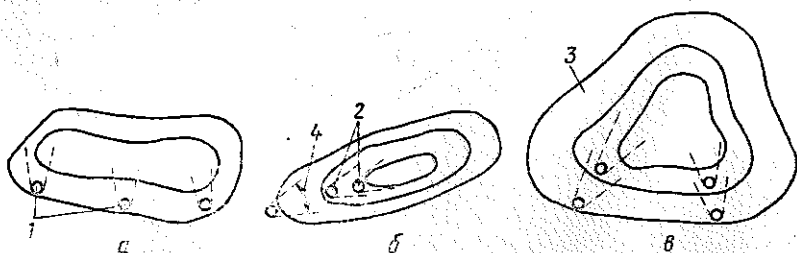


Рис. 7.13. Схемы установки ВМП в карьере:

а — последовательная; *б* — параллельная; *в* — комбинированная;
1, 2 — вентиляторы; 3 — контуры карьера; 4 — угол раскрытия свободной струи

Вместо вентиляторов широко применяются реактивные двигатели, списанные из авиации. Для одновременной борьбы с пылью в воздушную струю вводят небольшое количество воды и создают воздушно-водяную тонкодисперсную струю.

Самое выгодное расположение двигателя (или ВМП) от дна карьера равно $\frac{1}{3}$ общей высоты карьера. Угол между струей и горизонтальной плоскостью должен быть равен углу раскрытия свободной струи (15—25°) (рис. 7.14).

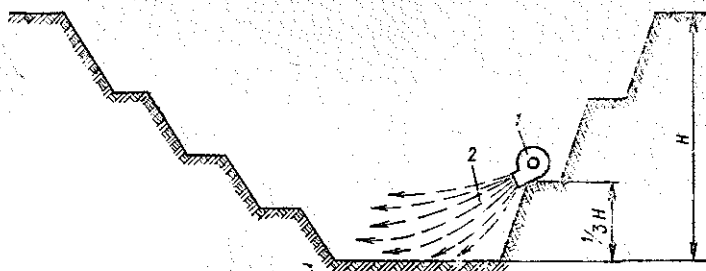


Рис. 7.14. Расположение ВМП на нерабочем борте карьера:

1 — вентилятор; 2 — свободная струя

Глубокие, ограниченные в плане, карьеры эффективно проветриваются мощной вертикальной струей реактивного двигателя. Струя подсасывает окружающий загрязненный воздух и выносит его из карьера.

Применение реактивной техники в некоторых случаях позволяет сбить неблагоприятный режим инверсии на дне карьера. Реактивный двигатель должен работать форсированно, как при взлете.

Винты пропеллерного типа применяют в карьере с числом лопастей для уравновешенной работы не менее трех.

Изменение температурного градиента атмосферы карьеров с целью создания воздушных потоков может производиться с помощью реактивных двигателей (подогрев воздуха), льдообразования (охлаждение воздуха) и т. д.

7.2. ВЛИЯНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ НА НАГРУЗКУ ЛАВ И СЕЧЕНИЕ ВЫРАБОТОК

Проветривание на газоносных пластах угля накладывает ограничения на ряд основных параметров и показателей добычи. Больше всего это отражается на нагрузке лав, которая

лимитируется содержанием газа на исходящей струе и скоростью воздуха в лаве.

Согласно инструкции по проветриванию Минуглепрома СССР нагрузка на лаву с учетом газового фактора определяется по выражению

$$A = j_{\max} T_m, \text{ т/сут}, \quad (7.1)$$

где $j_{\max}$ — максимально возможная производительность выемочной машины по газовому фактору

$$j_{\max} = \frac{0,6 V_{\max} S_d d}{K_{\text{оч}} Q_{\text{оч}}}, \text{ т/мин}; \quad (7.2)$$

T_m — время работы машины по добыче

$$T_m = 24 \cdot 60 K_m, \text{ мин}; \quad (7.3)$$

K_m — коэффициент машинного времени.

Формула $j_{\max}$ (7.2) выведена статистическим методом при условии, что количество газа, образуемое в очистном забое (произведение $j_{\max} \cdot K_{\text{оч}} \cdot Q_{\text{оч}}$), не должно быть больше количества газа, выносимого из лавы максимальной скоростью воздуха ($V_{\max}$) при содержании метана на исходящей струе d менее 1% (произведение $V_{\max} \cdot S_d \cdot d$).

Другие обозначения формулы (7.2):

S_d — сечение лавы, свободное для прохождения воздуха,

$$S_d = m S_n \varphi K_{в.п}, \text{ м}^2; \quad (7.4)$$

m — вынимаемая мощность пласта, м;

S_n — ширина призабойного пространства лавы, м;

φ — коэффициент, учитывающий помехи для движения воздуха в лаве, $\varphi = 0,8-0,9$;

$K_{в.п}$ — коэффициент, учитывающий разжижение газов в лаве за счет движения воздуха в выработанном пространстве в непосредственной близости к призабойному пространству;

$K_{\text{оч}}$ — коэффициент, учитывающий долю газовыделения при отделении угля в ее общем балансе в очистном забое, т. е. за вычетом из общего баланса газовыделения во время отсутствия работ по добыче

$$K_{\text{оч}} = K_m \left[\frac{(x - x_0)(1 - K_m)(1 - K_{\text{дег.п.}})}{Q_{\text{оч}}} + 1 \right]; \quad (7.5)$$

$Q_{\text{оч}}$ — газообильность лавы (см. п. 1.3.5).

Например, для $S_{\text{оч}} = 3 \text{ м}^2$ и $Q_{\text{оч}} = 15 \text{ м}^3/\text{т}$ можно получить следующие данные по нагрузке при различном коэффициенте машинного времени (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Параметр	Расчетные величины при изменении коэффициента K_n в пределах						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$K_{оч}$	0,3	0,44	0,56	0,61	0,76	0,84	0,9
j_{max}	2,14	1,45	1,14	0,96	0,84	0,76	0,71
A	460	470	490	510	550	580	610

Из табл. 7.1 видно, что с ростом K_m производительность снижается из-за увеличения доли газовыделения при отделении угля, однако A растет, что является весьма положительным моментом. В связи с этим целесообразно иметь выемочную машину с регулируемой производительностью в соответствии с изменениями $K_{оч}$.

Есть ряд величин, от которых зависит увеличение A при проектировании нагрузки на забой в газовых шахтах.

Рассмотрим возможность изменения основных величин с указанной целью.

Начнем с d — максимально допустимого содержания газа в исходящей струе. Как было отмечено в п. 1.3.3, в большинстве стран величина d больше, чем в СССР. Имеется тенденция к ее увеличению. В СССР простое увеличение d недопустимо, так как это связано с уменьшением безопасности работ. Однако увеличение стало возможным в связи с внедрением на большинстве шахт автоматического контроля за содержанием газа. В ближайшее время это найдет отражение в новых ПБ.

Скорость воздуха в лаве по ПБ должна быть не более 4 м/с. Однако уже при существующей механизации она достигает около забоя 5—6 м/с при условии эффективной борьбы с пылью. Эта скорость может быть увеличена до 8—10 м/с при безлюдной выемке угля.

Уже сейчас достигнуты высокие показатели при дегазации пластов, что позволяет повысить коэффициенты $K_{дег.пл}$ и $K_{дег.в.п.}$. Значения этих коэффициентов зависят от газопроницаемости угля, количества скважин, выработок и срока дегазации. Коэффициент $K_{дег.п}$ меняется в широких пределах — от 0,2—0,3 до 0,5—0,6. Последние величины характерны для способа дегазации гидрорасчленением пласта. Коэффициент $K_{дег.в.п.}$ в выработанном пространстве зависит от марки угля и колеблется в пределах 0,1—0,45 (меньшие величины — для антрацита и большие — для длиннопламенных углей).

Остаточная газоносность угля, выданного на поверхность,

составляет 2—3 м³/т для малометаморфизированных углей и 8—10 м³/т — для антрацита.

Коэффициент неравномерности газовыделения при непрерывной добыче может быть равен 1.

Учитывая приведенные факторы в комплексе, можно в 6—8 раз повысить нагрузку на забой. Следует отметить, что прогрессивные способы безлюдной выемки угля, а также способы, в которых метан вместе с пылью отсасывается из забоя, позволят более кардинально решить проблему повышения нагрузки на лаву.

При определении влияния на сечение выработок газового фактора за основу берется экономический фактор, т. е. находится такое сечение, при котором депрессия будет минимальной. Расчет ведут с применением ЭВМ.

Сечение выработки определяют из уточненной формулы потери напора на сопротивление трения воздуха о стенки выработки ИГД им. А. А. Скочинского

$$S = \sqrt[2.5]{\frac{D'}{h}}, \quad (7.6)$$

где D' — общая характеристика выработки, $D' = KD$;

K — коэффициент стоимости проходки 1 м³ выработок, приводящий их к одинаковым условиям, $K=0,25$ для стволов, $K=0,5$ для квершлагов и $K=1$ для других выработок;

D — характеристика выработки по проходимости вентиляционной струи

$$D = \alpha CLQ^2; \quad (7.7)$$

C — коэффициент, учитывающий форму выработки, $C=3,54$ для круглых выработок, $C=3,8$ — для трехцентренных и $C=4$ — для трапецидальных.

При установлении депрессии выработки за основу берется приведенная величина

$$h_{np} = h_m - \Sigma h_{min}, \quad (7.8)$$

где Σh_{min} — суммарная депрессия выработок, сечения которых не могут быть выше определенного минимума по условиям целесообразности (например, лава) или максимуму скорости (например, в капитальном квершлаге с большим количеством воздуха).

Тогда депрессия выработки в какой-то отдельной сети

$$h_i = \frac{h_{np} \frac{1}{D}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i}}, \quad (7.9)$$

где n — число выработок в сети.

Расчет начинают с сети (например, на одном из пластов), близко расположенной к подающим стволам, чтобы при дальнейших расчетах одинаковые выработки не фигурировали.

Полученные сечения S проверяют на минимум (по скорости воздуха и транспорту) и максимум (для стволов — 60 м^2 , для других выработок — 20 м^2).

Если полученные сечения меньше S_{min} , то их принимают, а депрессию ее приравнивают к Σh_{min} и делают пересчет h_{np} для других выработок. Если полученное сечение больше S_{max} , то рассчитывают параллельные ей выработки в количестве

$$h' = \left(\frac{S}{S_{max}} \right)^{1,25}. \quad (7.10)$$

Точность расчета достаточно высока ($\approx 5\%$).

8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ И КАРЬЕРОВ

В проекты вентиляции входит следующее.

Для шахты: обоснование системы и схема проветривания, расчеты $Q_{ш}$ и распределение воздуха по выработкам, определение $h_{ш}$ и средств регулирования струями, расчеты Q_v , h_v и выбор главного вентилятора, определение экономических показателей.

Для карьера: оценка природных условий, выбор схемы воздухообмена за счет ветра и естественной тяги, определение зон рециркуляции, при необходимости расчеты искусственного воздухообмена, определение экономических показателей.

8.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕШАХТНОГО КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА

Общешахтное количество воздуха для угольной шахты определяется по выражению

$$Q_{ш} = K_p (K_A \Sigma Q_{уч} + \Sigma Q_{п} + \Sigma Q_{к} + \Sigma Q_{ут}), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (8.1)$$

- где $\Sigma Q_{уч}$ — суммарное количество воздуха для проветривания выемочных участков;
 $\Sigma Q_{п}$ — суммарное количество воздуха для проветривания подготовительных выработок струей, не поступающей в очистные забои;
 $\Sigma Q_{к}$ — суммарное количество воздуха для проветривания камер обособленной струей;
 $\Sigma Q_{ут}$ — суммарное количество утечек от подающих стволов до очистного забоя;
 K_A — коэффициент, учитывающий возможное увеличение добычи, равен 1,01—1,06;
 K_p — коэффициент, учитывающий неравномерное распределение воздуха по выработкам, $K_p = 1,1$.

Приведенная формула $Q_{ш}$ используется главным образом при проектировании вентиляции угольных шахт. Ниже будут даны расчеты $Q_{ш}$ для рудных шахт, имеющих особенности в проветривании из-за производства массовых взрывов и большого количества рабочих мест, связанных с пылеобразованием.

Для отдельного очистного участка (без подсвеживания струи)

$$Q_{уч} = Q_{оч} \cdot K_{ут.в}, \quad (8.2)$$

- где $K_{ут.в}$ — утечки воздуха на выемочном участке,
 $K_{ут.в} = 1,1—1,8$;

$Q_{оч}$ — количество воздуха, необходимое для проветривания очистного забоя.

Количество воздуха для очистного забоя $Q_{оч}$ определяется по ряду факторов: количеству работающих, газовыделению, пылеобразованию и тепловым условиям. Для выбора вентилятора принимают из всех полученных значений максимальное количество воздуха.

По людам

$$Q_{оч} = n_r K_{л}, \quad (8.3)$$

- где n_r — норма подачи свежего воздуха в шахту на одного подземного рабочего, $n_r = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$;
 $K_{л}$ — максимальное количество рабочих, одновременно находящихся в очистном забое

$$K_{л} = \frac{A_{сут}}{a_{оч} \cdot n_c}; \quad (8.4)$$

- $A_{сут}$ — суточная добыча угля из очистного забоя;
 n_c — число смен по добыче;
 $a_{оч}$ — производительность рабочего очистного забоя на выход, $a_{оч} = 20—30 \text{ т}$.

По выделению газов CH_4 или CO_2 :

а) при нагрузке на лаву, принятой по газовому фактору.

$$Q_{\text{оч}} = 60VS_{\text{л}}; \quad (8.5)$$

б) при нагрузке на лаву, принятой по техническому фактору,

$$Q_{\text{оч}} = \frac{100 \cdot J_{\text{оч}}}{d - d_0}, \quad (8.6)$$

где d_0 — содержание газа во входящей струе, $d_0 = 0,5\%$;

$J_{\text{оч}}$ — абсолютная газообильность очистного забоя,

$$J_{\text{оч}} = J_{\text{max}} \{ K_{\text{оч}} q_{\text{пл}} (1 - K) + [q_{\text{пл}} (1 - K_{\text{оч}}) (1 - K_{\text{дег.пл}}) + K_{\text{в.п}} q_{\text{в.п}} (1 - K_{\text{дег.в.п}})] K_{\text{м}} \}. \quad (8.7)$$

Обозначения в формуле (8.7) даны на с. 21 и 194.

По газам ВВ

$$Q_{\text{оч}} = \frac{34}{t} \sqrt{BV_{\text{оч}}}, \quad (8.8)$$

где t — время проветривания, $t = 30$ мин;

B — количество ВВ при его газовости, равной 100 л/кг;

$V_{\text{оч}}$ — объем проветриваемой очистной выработки.

По пыли расчет производится только в том случае, если скорость воздуха, отвечающая температуре воздуха в выработках или газовыделению, меньше оптимальной скорости по удалению пыли, которая равна в очистном забое 1 м/с и в подготовительном — 0,5 м/с. По фактору пыли

$$Q_{\text{оч}} = 60 V_{\text{о.с}}^{\text{л}} S_{\text{л}} + 60 V_{\text{о.с}}^{\text{п}} \Sigma S_{\text{пл}}, \quad (8.9)$$

где $V_{\text{о.с}}^{\text{л}}$ и $V_{\text{о.с}}^{\text{п}}$ — оптимальные скорости в лаве и подготовительном забое;

$\Sigma S_{\text{пл}}$ — суммарное сечение подсвежающих выработок.

Количество воздуха для проветривания подготовительных выработок также определяется по ряду факторов: людям, газам $\text{CH}_4(\text{CO}_2)$, газам ВВ, минимальной скорости движения воздуха и тепловому фактору.

При расчете по метану детально учитывается интенсивность газовыделения. Газовыделение рассчитывается на основе природной газоносности или фактического выхода метана из массива. Оно равно сумме газовыделений в призабойное пространство и — из боковых пород.

При комбайновой проходке газовыделение в призабойное пространство

$$J_{\text{пп}} = J_{\text{об}} \sqrt{\frac{L_{\text{пп}}}{L_{\text{пр}}}} + j K_{\text{г}} (x - x_0), \quad (8.10)$$

где $J_{\text{об}}$ — метановыделение из обнажений угля при проходке.

$$J_{\text{об}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 V_{\text{пр}} K_{\text{г}} a (x - x_0)^n; \quad (8.11)$$

m — мощность пласта;

β — коэффициент, учитывающий фильтрацию газа, для $\sqrt{S}/m$ он равен 1, для остальных $\beta = 0,26 - 0,95$;

$V_{\text{пр}}$ — скорость проведения выработки, м/сут;

$K_{\text{г}}$ — коэффициент, учитывающий время проведения, сут; для Донецкого бассейна $K_{\text{г}}$ колеблется в пределах 1,2—10 при изменении времени проходки от 1 до 150 сут, $K_{\text{г}} = 11$ при времени проходки более 150 сут, для других бассейнов

$$K_{\text{г}} = \sqrt{T_{\text{пр}}}; \quad (8.12)$$

$T_{\text{пр}}$ — время проведения выработки, сут;

a — коэффициент, зависящий от выхода летучих, $a = 0,14 - 0,28$; для Донецкого бассейна $a = 0,28$;

x и x_0 — природная и остаточная газоносность, соответственно.

$$x_0 = x_{0,г} \frac{100 - W - A_3}{100}; \quad (8.13)$$

$x_{0,г}$ — остаточная метаноносность угля сухой беззольной массы, м³/т; принимается в зависимости от выхода летучих, для Донецкого и Карагандинского бассейнов $x_{0,г} = 2 - 12$;

W — природная влажность угля, %;

A_3 — природная зольность угля, %;

n — показатель степени, зависящий от $(x - x_0)$, при величине $(x - x_0)$ больше 11 $n = 2$, в остальных случаях $n = 1$;

$L_{\text{пп}}$ — длина призабойного пространства, $L_{\text{пп}} = 20$ м;

$L_{\text{пр}}$ — длина проходимой выработки;

j — техническая производительность комбайна, т/мин;

$K_{\text{г}}$ — коэффициент, учитывающий время нахождения

ния отбитого угля на почве призабойного пространства,

$$K_{\text{тв}} = 0,115 \sqrt[4]{T_y}; \quad (8.14)$$

T_y — время нахождения отбитого угля в призабойном пространстве

$$T_y = \frac{S_{\text{уг}} l_{\text{ц}} \gamma}{j}; \quad (8.15)$$

$S_{\text{уг}}$ — сечение забоя по углю, м^2 ;

$l_{\text{ц}}$ — подвигание забоя за цикл работы комбайна, как правило, равно расстоянию между арками крепи, но не менее 1 м.

При определении газовыделения из остальной части выработки не учитывается призабойное пространство и устанавливается газовыделение из транспортируемого угля с помощью коэффициентов $K_{\text{в}}$.

При транспортировании угля конвейером

$$K_{\text{в}} = \sqrt[4]{1 + \frac{L_{\text{пр}} - 20}{V_{\text{к}}}}, \quad (8.16)$$

$V_{\text{к}}$ — скорость транспортирования угля конвейером, м/мин .

При транспортировании угля в вагонетках

$$K_{\text{в}} = \left(1 + 3 \cdot 10^{-3} \frac{S_{\text{уг}} \gamma V_{\text{пр}}}{j K_{\text{тв}}} \right). \quad (8.17)$$

Газовыделение при буровзрывной проходке рассчитывается аналогично формуле (8.10), за исключением ее второго слагаемого, учитывающего газовыделение из отбитого угля,

$$J_{\text{ог}} = 3 \cdot 10^{-3} S_{\text{уг}} \gamma V_{\text{пр}} (x - x_0). \quad (8.18)$$

По фактическому метановыделению для Донецкого бассейна

$$(x - x_0) = \frac{480}{\text{mn}_3} \sum_{i=1}^{n_3} \frac{J_{\text{фн}i}}{V_{\text{ф}i} K_{\text{т}i}}, \quad (8.19)$$

где $V_{\text{ф}i}$ — фактическая скорость проведения участка выработки, на котором выполнен замер газовыделения, м/сут ;

$K_{\text{т}i}$ — значение коэффициента $K_{\text{т}}$ для указанного участка выработки;

n_3 — число замеров газовыделения.

Для других бассейнов расчет по формуле (8.19) ведут, ес-

ли $(x - x_0)$ не больше $11 \text{ м}^3/\text{т}$. При больших значениях расчет ведут по формуле

$$(x - x_0) = \frac{50}{n_3 \sqrt{\alpha \beta}} \sum_{i=1}^{n_3} \sqrt{\frac{J_{\text{пл}i}}{V_{\text{ф}i} K_{\text{т}i}}} \quad (8.20)$$

Все обозначения формулы (8.20) приведены выше.

Предпоследний член в формуле (8.1) ΣQ_k устанавливается в зависимости от назначения камер.

Для склада ВМ

$$Q_k = 0,07 V_k \quad (8.21)$$

где V_k — суммарный объем выработок склада, м^3 .

Для зарядных камер

$$Q_k = 30 K_3 \cdot n_a \quad (8.22)$$

где K_3 — коэффициент, учитывающий тип применяемых аккумуляторных электровозов, для А10-2 $K_3 = 1,6$ и 13АРП-900 (и ему аналогичных) — 2,2;

n_a — число одновременно заряжаемых аккумуляторных батарей.

Утечки воздуха от подающих стволов до очистного забоя для пластов мощностью менее 2,5 м определяют по формуле

$$\Sigma Q_{\text{ут}} = K_k (K_A \Sigma Q_{\text{уч}} + \Sigma Q_n), \quad (8.23)$$

где K_k — коэффициент, учитывающий потери воздуха в зависимости от расположения выработок, $K_k = 0,2$ — $0,35$ при пластовой подготовке и $K_k = 0,1$ — $0,15$ при полевой подготовке пласта.

Общешахтное количество воздуха, идущее от подающих стволов к очистным участкам, должно полностью разбавлять газовыделение так, чтобы на исходящей струе шахты содержание метана было меньше 0,75%. Проверочным расчетом является удовлетворение следующего неравенства

$$1,1 (K_A \Sigma Q_{\text{уч}} + \Sigma Q_n) \geq 133 (\Sigma J_y + \Sigma J_n + \Sigma J_{\text{ст}}), \quad (8.24)$$

где J_y , J_n и $J_{\text{ст}}$ — абсолютное газовыделение из очистных участков, подготовительных выработок и выработанных пространств ранее отработанных этажей, ярусов, секций и горизонтов.

Общешахтное количество воздуха для рудной шахты. Проветривание после массового взрыва в рудной шахте может быть обеспечено только после полного воздухообмена в выработках по исходящей струе. Использование формул для разжижения газа дает весьма завышенные значения.

Тогда необходимое количество воздуха для проветривания шахты при подэтажном обрушении *массовым взрывом* составит

$$Q_{\text{ш}} = \frac{40,3}{t} \sqrt{A_y V_3}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (8.25)$$

где t — время проветривания равно 120 мин и более, до 10—14 ч при $A=200\text{—}400$ т;

A_y — условный заряд ВВ с газовыделением при отбойке, равным части продуктов взрыва, попадающих только в прилегающие к дучкам выработки,

$$A_y = iA, \text{ кг}; \quad (8.26)$$

A — количество одновременно взрываемого ВВ;

i — коэффициент, учитывающий газовыделение в прилегающие к дучкам выработки; для подэтажного обрушения значение i приведено в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Характер контакта отбитой руды с обрушенными породами	i
Сверху блока	0,085
Сверху и сбоку блока	0,058
Сверху и с двух боков блока	0,047

V_3 — объем загазированного воздуха, который должен быть заменен на чистый воздух после массового взрыва,

$$V_3 = V_{\text{исх}} + A_y b_a; \quad (8.27)$$

$V_{\text{исх}}$ — объем выработки по исходящей струе от первой вентиляционной выработки блока до поверхности, м^3 ;

b_a — объем всех газов, образующихся при взрыве 1 кг ВВ, $b_a = 0,9 \text{ м}^3/\text{кг}$ (при $P_0 = 1013 \text{ гПа}$ и $t = 0^\circ \text{C}$).

При выпуске и вторичном дроблении

$$Q_{\text{ш}} = n \cdot n_1 \frac{40,3}{t_b} \sqrt{A_y V_b}, \quad (8.28)$$

где n — число очистных блоков в одновременной работе;

n_1 — число выработок блока, где одновременно производится выпуск руды;

t_b — время проветривания при вторичном дроблении, $t_b = 300 \text{ с}$;

V_a — объем одной выработки горизонта выпуска, считая от скреперной лебедки до сборной вентиляционной сбойки;

A'_y — величина условного заряда ВВ с газовыделением, равным сумме продуктов взрыва при вторичном дроблении и из выпускаемой отбитой руды,

$$A'_y = A_1 + A_2; \quad (8.29)$$

A_1 — количество ВВ, соответствующее газовыделению при выпуске отбитой руды,

$$A_1 = \xi \frac{P_c V_{св} t_{вр}}{\gamma_p t_{вр} b_a}, \text{ кг}; \quad (8.30)$$

ξ — коэффициент, учитывающий более интенсивное газовыделение из отбитой руды в начальный период выпуска, $\xi = 2,7$;

P_c — количество руды, выпускаемое в сутки в выработку скреперования из всех дучек, т;

$V_{св}$ — свободный объем руды, или коэффициент, учитывающий пустоты в разрыхленной отбитой руде, $V_{св} = 0,3$, м³/м³;

γ_p — объемная масса руды в разрыхленном состоянии, $\gamma_p = 2,7$ т/м³;

$t_{вр}$ — время выпуска руды в течение суток, ч;

A_2 — количество ВВ для вторичного дробления.

С некоторыми изменениями $Q_{ш}$ определяется для других систем разработки, применяемых в рудной шахте.

По эффективному удалению пыли в рудной шахте

$$Q_{ш} = \sum_{i=1}^{i=n} N_i (S_i V_1 + S'_i V_2) + \left(\sum_{i=1}^{i=n} M_i S'_i + \sum_{i=1}^{i=m} K_i S'''_i \right) V_2, \quad (8.31)$$

где n — число применяемых систем разработки;

N_i — число очистных блоков;

S_i и S'_i — максимальные суммарные сечения выработок горизонта скреперования и нарезных выработок очистного блока с одновременным производством работ, связанных с пылеобразованием;

V_1 и V_2 — эффективные, с точки зрения удаления пыли, скорости воздуха на горизонте скреперования и в других выработках шахты, $V_1 = 0,6$ м/с, $V_2 = 0,3$ м/с;

m — число групп капитальных выработок с различным количеством воздуха;

S_i и S_i''' — максимальные суммарные сечения одновременно проходимых подготовительных и капитальных выработок;

M_i — число блоков в подготовке;

K_i — число подготавливаемых горизонтов.

Как правило, в рудной шахте максимальное количество воздуха определяет фактор пыли.

Из уравнения (8.31) может быть найдено количество воздуха на один блок. Общешахтное количество воздуха умножается на коэффициент запаса $Z=1,3-1,6$.

Общешахтное количество воздуха распределяют по выработкам в соответствии с потребностями забоев и допустимыми скоростями воздуха.

Полученная скорость должна быть не больше максимально допустимой по ПБ. При несоблюдении этого условия необходимо предусмотреть меры по увеличению сечения лавы (или выработки) за счет изменения паспорта крепления и управления кровлей или по проведению дополнительной выработки.

Количество воздуха для подсыживания в лаву находят из выражения

$$Q_{\text{подсв}} = Q_{\text{уч}} - Q_{\text{оч}} \quad (8.32)$$

8.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕШАХТНОЙ ДЕПРЕССИИ

Депрессию шахты $h_{\text{ш}}$ устанавливают по направлению струи с максимальным сопротивлением, чаще всего для предпоследнего этажа, панели, секции и блока в пределах горизонта или шахтного поля. Одновременно находится депрессия для верхних частей шахтного поля, т. е. на начало отработки его с целью определения области, в которой будут работать главные вентиляторы.

Итак, депрессия шахты

$$h_{\text{ш}} = h_{\text{тр}} \pm h_{\text{с}} + h_{\text{м.с.}} \quad (8.33)$$

где $h_{\text{тр}}$ — потери напора на преодоление сопротивления воздуха о стенки выработки, $h_{\text{тр}} = \alpha \frac{L_{\text{выр}} P}{S_{\text{выр}}^3} \cdot Q^2$;

α — коэффициент аэродинамического сопротивления выработок, находят по таблицам в справочнике [33];

$L_{\text{выр}}$ — длина выработки;

P — периметр выработки;

Q — количество воздуха, проходящее по выработке, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $S_{\text{выр}}$ — сечение выработки, м^2 ;
 h_e — величина депрессии естественной тяги

$$h_e = 0,0047 H_{\text{ств}} (t'' - t'); \quad (8.34)$$

$H_{\text{ств}}$ — глубина ствола, по которому подается в шахту воздух, м;
 t' и t'' — температура входящего и выходящего из шахты воздуха, град; в летнее время разница температур будет отрицательной — естественная тяга препятствует работе вентилятора, в зимнее время — положительной — естественная тяга помогает работе вентилятора;
 $h_{\text{м.с}}$ — потери напора на местные сопротивления (повороты, уширения, сужения струи и т. д.),

$$h_{\text{м.с}} = (0,1 - 0,25) h_{\text{тр}}.$$

Величина $h_{\text{ш}}$ колеблется в пределах 200—300 даПа. Депрессии более 400—500 даПа приводят к увеличению утечек воздуха.

8.3. ВЫБОР ГЛАВНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ШАХТЫ

Количество воздуха, проходящее через вентилятор,

$$Q_v = Q_{\text{ш}} \left(1 \pm \frac{n'}{100} \right), \quad (8.35)$$

где n' — максимально допустимая величина подсоса (или утечек) вентилятора через устье ствола, %, $n' = 5 - 15\%$ в зависимости от занятости ствола другими работами.

Диаметр рабочего колеса вентилятора

$$D = \sqrt{\frac{A_{\text{ш}}}{0,44}}, \quad (8.36)$$

где $A_{\text{ш}}$ — эквивалентное отверстие шахты, м^2 ,

$$A_{\text{ш}} = 0,38 \frac{Q_{\text{ш}}}{\sqrt{h_{\text{ш}}}}. \quad (8.37)$$

Сопротивление вентиляторной установки

$$R_a = a \frac{\pi}{D^4}, \quad (8.38)$$

где a — коэффициент, зависящий от типа вентилятора

$$a = 0,05 - 0,1.$$

Депрессия вентилятора

$$h_b = (K'R_{\text{ш}} + R_a)Q_b^2, \quad (8.39)$$

где K' — коэффициент подсоса (или утечек) вентилятора

$$K' = \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi'}{100}\right)}; \quad (8.40)$$

$R_{\text{ш}}$ — сопротивление шахты

$$R_{\text{ш}} = \frac{h_{\text{ш}}}{Q_{\text{ш}}^2}. \quad (8.41)$$

По полученным Q_b , h_b и D выбирают главный вентилятор, используя справочники [27, 33]. Депрессия h_b должна быть не более 90% депрессии вентилятора, данной в справочнике. По данным расчетов проветривания верхних частей шахтного поля уточняют возможность использования вентиляторов в течение всего срока службы шахты. Определяют мощность двигателя и расход электроэнергии вентилятора.

8.4. ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ КАРЬЕРА

С целью повышения эффективности воздухообмена в карьере большое значение придается оценке климата, орографии и растительности района.

Климат. Рассматриваются скорость и направление ветра, периоды штилей и инверсий температуры, годовое изменение температуры, количество и характер осадков, возможности появления туманов и величины солнечной радиации.

Величина солнечной радиации, как известно, определяет температуру горных пород и воздуха, а также устойчивость атмосферы и воздухообмена в карьере. Увеличение солнечной радиации способствует воздухообмену, уменьшение затрудняет его.

Орография — форма земной поверхности — определяет закрытость горизонта неровностями рельефа, от которого зависит усиление или ослабление входящего в карьер ветра (рис. 8.1).

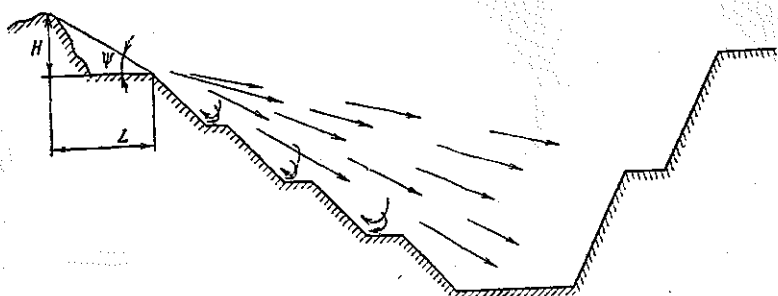


Рис. 8.1. Расчетная схема определения ослабления ветра в карьере при закрытости горизонта неровностями рельефа

Степень закрытости

$$a = \frac{H}{L}, \quad (8.42)$$

где H — максимальное превышение неровности над начальной отметкой карьера;

L — расстояние от борта карьера до H ;

Из рис. 8.1 видно, что максимальной высоте соответствует определенный угол ψ между линией, лежащей на начальной поверхности карьера, и линией, проведенной от борта карьера до вершины неровности.

Ослабление силы ветра характеризуется величиной степени ослабления

$$r = 1 - \frac{V_k}{V_0}, \quad (8.43)$$

где V_k и V_0 — средние скорости ветра, соответственно, в карьере и в данном географическом районе.

Степень ослабления ветра меньше единицы. Из уравнения (8.43) может быть найдена скорость ветра, который после ослабления движется в карьер

$$V_k = V_0(1 - r), \text{ м/с.} \quad (8.44)$$

Расчетные данные занесены в табл. 8.2, откуда видно, что при высоких неровностях земли создаются значительные помехи воздухообмену, причем круговые потоки воздуха без подсыхания могут иметь место уже при углах ψ , равных $20-25^\circ$.

Хорошей очистке входящему в карьер воздуху способствует обильная растительность на поверхности.

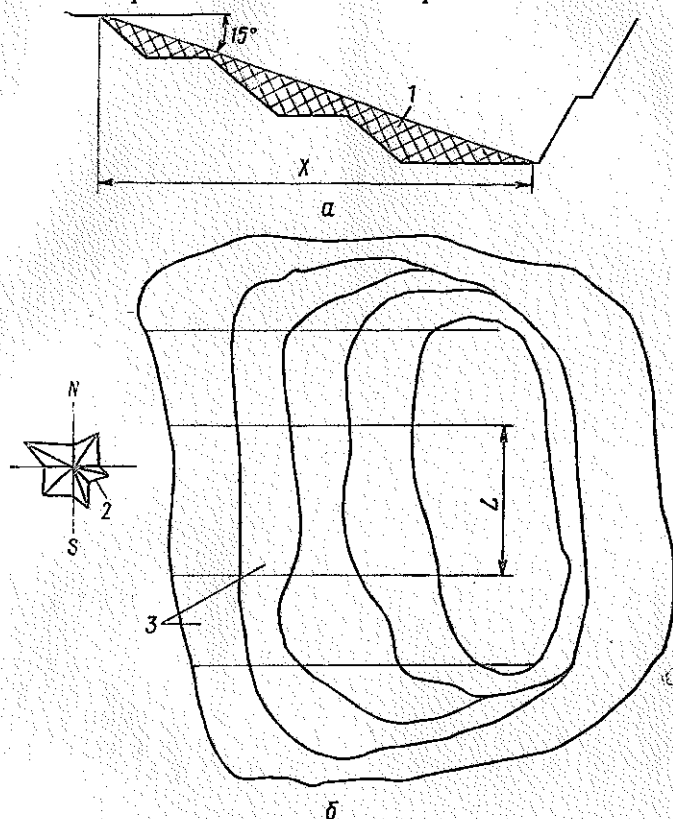


Рис. 8.2. Расчетная схема определения эффективных зон проветривания карьера при рециркуляционной схеме:
 а — поперечное сечение карьера; б — план карьера: 1 — сечение зоны рециркуляции; 2 — роза ветров; 3 — зоны ветра рециркуляции согласно розе ветров

Таблица 8.2

Показатель воздухообмена	Величина показателя при различных углах ϕ , град			
	5	10	15	более 15
Степень закрытости горизонта	0,09	0,18	0,27	Более 0,27
Степень ослабления ветра	0,1	0,2	0,3	Возникают обратные потоки

При рециркуляционной схеме проветривания карьеров устанавливают эффективность действия ветра и необходимость применения ВМП.

8.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН РЕЦИРКУЛЯЦИИ ВЕТРА В КАРЬЕРЕ

Вначале делают ряд сечений карьера при ветрах различного направления. В сечениях откладывают угол раскрытия струи (равный 15°) до наветренной стороны карьера (или дна его) (рис. 8.2). Находят значения абсцисс X и длину зон рециркуляции L .

По характеристикам пылеобразования применяемого оборудования устанавливают запыленность карьера ($\text{мг}/\text{м}^3$) в пределах зон рециркуляции

$$C = \frac{G_1}{0,015 X_{\text{ср}} \cdot LV_0}, \quad (8.45)$$

где G_1 — суммарная интенсивность пылеисточников зоны при коэффициенте одновременности работы 0,5 $\text{мг}/\text{с}$;

V_0 — скорость ветра на уровне поверхности земли, $\text{м}/\text{с}$.

Далее устанавливают, при какой скорости воздуха происходит эффективное проветривание карьера, а при какой плохое. Результаты расчета заносят на две диаграммы зависимости скорости ветра от времени, выраженном в течение суток (по часам) и года (по месяцам) (рис. 8.3).

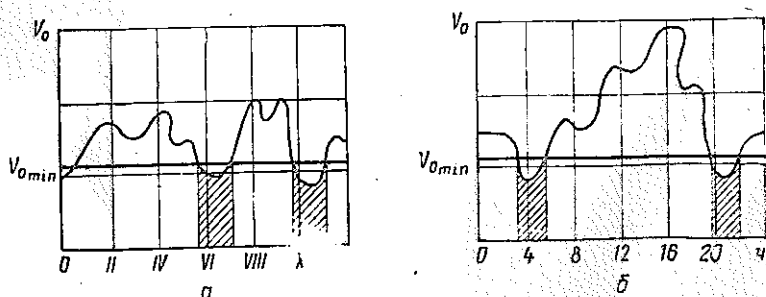


Рис. 8.3. Диаграммы эффективного проветривания карьера с помощью энергии ветра:

а — по месяцам (в заштрихованной части скорость ветра V_0 меньше допустимой по эффективному выпуску пыли и газа); б — по часам

8.6. РАСЧЕТ СРЕДСТВ ИСКУССТВЕННОГО ВОЗДУХООБМЕНА В КАРЬЕРЕ

При несоответствии запыленности нормам ПБ производят расчет количества воздуха, необходимого для вентилятора местного проветривания по формуле

$$Q = 0,08 \frac{V_k}{t} (H \lg y - 1), \quad (8.46)$$

где V_k — объем карьера с запыленным воздухом;
 t — время проветривания, $t = 30$ мин;
 y — степень разжижения запыленного воздуха карьера

$$y = \frac{C_{\max}}{C_g}; \quad (8.47)$$

$C_{\max}$ — запыленность воздуха карьера при максимальном ветре;

C_g — допустимая запыленность воздуха.

Число одновременно действующих ВМП

$$n = \frac{Q}{q_b}, \quad (8.48)$$

где q_b — производительность выбранного вентилятора.

Дальнобойность струи вентилятора

$$L = 2,8 R_0 \left(\frac{V_b}{V_{cp}} - 1,4 \right), \quad (8.49)$$

где R_0 — радиус свободной струи при выходе из вентилятора;

V_b — скорость воздуха на выходе из вентилятора;

V_{cp} — скорость воздуха в заданном месте, например, у подошвы карьера, $V_{cp} = 0,5$ м/с.

Может быть определен радиус струи на расстоянии l

$$R = 3,4 al + R_0, \quad (8.50)$$

где a — коэффициент структуры свободной струи, $a = 0,07 - 0,08$.

При выборе рабочего колеса пропеллерного типа определяют тягу ($\text{м}^3/\text{с}$) и диаметр винта.

Тяга винта

$$Q_b = C_r \frac{\rho (w_r)^2}{2} \pi r^2, \quad (8.51)$$

где C_r — коэффициент тяги;

ρ — плотность воздуха;
 w_r — окружная скорость винта;
 πr^2 — площадь, ометаемая винтом.
 Диаметр винта

$$D = \frac{\sqrt[3]{Q_b^2}}{g N_b}, \quad (8.52)$$

где N_b — заданная мощность двигателя;
 g — коэффициент

$$g = 20,6 \sqrt[3]{\rho}. \quad (8.53)$$

Ряд средств искусственного обмена основан на изменении адиабатического температурного градиента, т. е. повышения температуры воздуха в карьере с глубиной, который равен приблизительно 3°C на каждые 100 м. При нарушении последнего в карьере создаются восходящие потоки воздуха, способствующие обмену. Технически это осуществляется подогревом (либо охлаждением) определенной части воздуха в необходимом месте карьера.

В общем виде необходимое количество тепла (или холода) для изменения температурного градиента равно

$$Q_r = V_n C'_p \delta t \frac{H}{100}, \quad (8.54)$$

где V_n — нагреваемый (или охлаждаемый) объем воздуха;
 C'_p — объемная теплоемкость, $C'_p = 0,307$ ккал/м³·град;
 H — глубина карьера;
 δt — дефицит температуры

$$\delta t = \Delta t_c - \Delta t_f; \quad (8.55)$$

Δt_c — температурный градиент, обуславливающий неустойчивое состояние атмосферы, 1°C на 100 м;

Δt_f — фактическое значение температурного градиента.

Для обеспечения восходящих воздушных потоков дефицит температуры должен иметь отрицательные значения, т. е. повышение температуры должно превышать 1°C на 100 м глубины. Получаемый воздушный восходящий поток часто называют архимедовой силой. Его можно также назвать конвектным, так как восходящие теплые потоки устремляются к массам холодного воздуха.

Приведем пример расчета искусственной конвектной струи для установок типа ЧПИ (Челябинского политехнического института), используемых на угольных месторождениях Урала (рис. 8.4).

Установка ЧПИ состоит из ряда газовых форсунок 1, при включении которых и создается конвективный поток 2. Форсунки расположены на расстоянии $Z_n = 0,7 d$ (d — диаметр поверхности нагрева) от почвы.

Сразу над форсунками появляется поджатая часть потока (в самом узком месте), а затем струя расширяется и на высоте Z можно условно выделить границу теплового потока с диаметром $D = 0,44 Z$. Высота Z является заданной в зависимости от расстояния от дна карьера (или наружного уступа) до начала массы холодного воздуха. Указанная высота зависит также от угла раскрытия тепловой струи δ .

Тогда расход воздуха в любом сечении потока выше поджатой части

$$Q = Q_0 \sqrt[3]{b^5}, \quad (8.56)$$

где Q_0 — расход воздуха в поджатой части,

$$Q_0 = 14,5 \Delta t_n^{4/9} d^{7/3}, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (8.57)$$

Δt_n — разность температур воздуха в плоскости нагрева и окружающей среде, град;

b — коэффициент, учитывающий форму потока,

$$b = \frac{Z}{d}. \quad (8.58)$$

Например, при $Z = 250$ м, $\Delta t_n = 500^\circ \text{C}$, $d = 15$ м, $Q_0 = 1000$ м³/ч и $Q \approx 90\,000$ м³/ч.

Таким образом, для улучшения проветривания карьеров необходимо выполнение ряда основных требований:

а) располагать большую ось карьера перпендикулярно преобладающим ветрам (т. е. с учетом розы ветров), рабочими уступами на поветренной стороне, а также с учетом того, чтобы в карьер не вносились пыль отвалов и обогатительных фабрик, газы шпалопропиточных станций и т. д.;

б) желательно, чтобы угол откоса бортов карьера был в пределах угла раскрытия струи ветра;

в) горные работы в уступах следует планировать в перио-

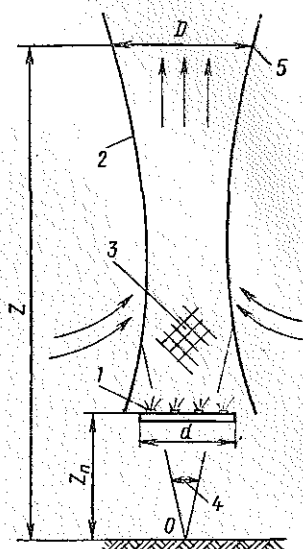


Рис. 8.4. Расчетная схема искусственной конвективной струи для проветривания карьера:

1 — форсунки; 2 — конвективная струя; 3 — поджатая часть струи; 4 — угол раскрытия тепловой струи; 5 — граница теплового потока

ды максимальной интенсивности естественного воздухообмена и учитывать инверсионные режимы при борьбе с газами;

г) дробление и перемещение пород должно быть минимальным, для дробления негабаритов желательно применять высокочастотное и другое оборудование с минимальным пылеобразованием для транспорта пород — троллейвозы и гидромеханизацию;

д) при выборе искусственных средств необходимо учитывать геометрию карьера и наличие пылеисточников; скорость воздушного потока не должна существенно превышать минимально необходимую по выносу пыли (восходящего потока — 0,6 м/с и горизонтального — 0,25 м/с);

е) при проветривании траншей учитывают изменение направления ветра в них на обратное по сравнению с карьером; расчет следует вести аналогично рециркуляционным схемам при $X=3,73 h$ (односторонняя траншея) и $X=0,86 b$ (двусторонняя), где h — высота траншеи и b — ширина ее.

8.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТА ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ И КАРЬЕРОВ

В показатели входят себестоимость и экономическая оценка. Общая себестоимость, как и обычно, устанавливается по ряду затрат

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \quad (8.59)$$

где C_1 — себестоимость вентиляционных работ по фонду заработной платы, руб,

$$C_1 = \frac{A_m}{T_m}; \quad (8.60)$$

A_m — месячный фонд заработной платы;

T_m — месячная добыча;

C_2 — себестоимость по затратам на материалы

$$C_2 = \frac{B}{T_{\text{год}}}; \quad (8.61)$$

B — стоимость материалов, израсходованных в течение года;

$T_{\text{год}}$ — годовая добыча;

C_3 — себестоимость по затратам на электроэнергию

$$C_3 = \frac{B}{T_{\text{год}}}; \quad (8.62)$$

B — годовые затраты на электроэнергию

$$B = B_1 + B_2; \quad (8.63)$$

B_1 — затраты на расход электроэнергии по счетчику;

B_2 — выплаты за установленную мощность;

C_4 — себестоимость, складывающаяся из затрат на амортизацию,

$$C_4 = \frac{\Gamma_1 + \Gamma_2}{T_{\text{год}}}; \quad (8.64)$$

Γ_1 — общие затраты (стоимость единицы, доставка и монтаж оборудования);

Γ_2 — затраты на капитальный ремонт (в пределах 60% от первоначальных затрат на приобретение оборудования).

Экономическая оценка рассматривается на примере искусственной вентиляции карьера. Смысл оценки состоит в сравнении затрат на простой оборудования из-за запыленности с затратами на искусственную вентиляцию.

Итак, затраты на простой

$$C_{\text{п}} = (C_{\text{к.м}} + C_{\text{ф}})t_{\text{п}}, \text{ руб.} \quad (99'8)$$

где $C_{\text{к.м}}$ — стоимость простоя комплекса машин, руб/ч;

$C_{\text{ф}}$ — плата за основные фонды, руб/ч;

$t_{\text{п}}$ — время простоя, ч.

Стоимость искусственной вентиляции

$$C_4 = \left(\frac{C_3}{t_p} + \frac{C_a}{t_p} + \frac{C_p'}{t_p} + C_m + C_2 + C_p'' \right) t_p, \text{ руб.} \quad (8.66)$$

где C_3 — годовой фонд заработной платы, руб;

C_a — амортизационные отчисления на вентиляционное оборудование, руб;

C_p' — стоимость наладок, ревизий и пр., не зависящих от продолжительности работ, руб;

C_m — стоимость материалов, руб/ч;

C_2 — стоимость электроэнергии, руб/ч;

C_p'' — стоимость ремонтов, зависящих от продолжительности работ, руб/ч;

t_p — необходимая продолжительность искусственной вентиляции карьера в течение года (см. рис. 8.3, а).

Из приведенных зависимостей может быть получено минимальное время простоя, при превышении которого целесообразно применение искусственной вентиляции.

Итак,

$$t_{\text{п min}} = \frac{C_a + C_3 + C_p'}{C_{\text{к.м}} + C_{\text{ф}} - C_m - C_2 - C_p''}. \quad (8.67)$$

Например, $C_a = 60\,000$ руб/ч, $C_s = 86\,400$ руб/ч, $C_p' = 12\,000$ руб/ч; $C_{к.м} = 688$ руб/ч; $C_{ф} = 340$ руб/ч; $C_m = 710$ руб/ч, $(C_s + C_p) = 1860$ руб/ч. Тогда $t_{н.мин} = 73$ ч, т. е. про-
стой должны быть равны не более 3 сут.

9. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ ТРУДА В СССР

9.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Охрана труда — мероприятия по всестороннему обслуживанию трудящихся государственными и общественными органами.

Это понятие включает в себя различные мероприятия, связанные как с деятельностью самого горного предприятия по добыче полезных ископаемых, так и других организаций, обеспечивающих нормальную работу трудящихся, включая, например, детские сады, дома отдыха и др.

Техника безопасности — комплекс мероприятий по предохранению организма от различных травм (повреждений) и предупреждению от вредных последствий, связанных с условиями работы.

Эти мероприятия в отличие от мероприятий по охране труда связаны только с местом работы. Сюда относятся различные электрозащиты, ограждения и др.

Промсанитария — комплекс мероприятий по созданию нормальных санитарно-гигиенических условий труда и изучению их влияния на здоровье и работоспособность трудящихся.

Санитарно-гигиенические факторы включают: влажность, температуру воздуха, освещенность и т. д.

Производственная травма (несчастный случай) — повреждение организма трудящегося, полученное внезапно, на территории предприятия, при выполнении трудовых обязанностей.

Другие виды травм: внепроизводственная, бытовая и т. д. детально изучаются и анализируются в специальных институтах по охране труда.

Профессиональное заболевание (профзаболевание) — заболевание трудящегося в результате воздействия неблагоприятных санитарно-гигиенических условий атмосферы (метеорологических) — из-за газа или пыли, большой влажности (сырости), недостаточного освещения, значительного шума, давления воздуха и больших сотрясений. К профзаболеваниям относятся: горная болезнь, пневмокониоз, ревматизм, нистагм, кессонная и вибробольесть.

Эргономика — наука о законах работы человека, природе причин правильных и неправильных действий его в производственной и непроизводственной обстановке на основе физиологии, психологии, антропометрии, гигиены, физики, химии и биологии.

Основная цель эргономики — обеспечение совместно с техническими мероприятиями высокой производительности труда и безопасности работ, но с учетом достижений медицины и указанных наук.

Психофизиология труда — наука о выработке иммунитета у трудящихся против неврозов, сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваний, а также алкоголизма и неадекватного поведения на основе психогигиены, психопрофилактики и психотерапии.

Неадекватное поведение — поведение во время стрессовых ситуаций, характеризующее невротическим отношением к делу.

Трудовое законодательство — ряд законов, постановлений, распоряжений и актов по охране труда.

К нему относятся законы, заложенные в Конституции СССР, а также следующие законодательные акты: «Основы законодательства по труду в СССР», «Закон о трудовых коллективах и повышении их роли в управлении предприятиями, учреждениями, организациями», «Положение о социалистическом государственном предприятии», «Правила технической эксплуатации» (ПТЭ), «Правила безопасности» (ПБ), «Государственные стандарты» (ГОСТ), «Технические условия» (ТУ), «Санитарно-гигиенические нормы» (СГН), «Правила по установкам» и т. д.

9.2. ОБЩЕЕ ТРУДОВОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО

В Конституции (Основном Законе) СССР дано юридическое начало советского трудового права.

В статье 14 говорится о том, что каждый советский гражданин имеет право на свободный от эксплуатации труд. Государство способствует всеми мерами, чтобы труд стал первой жизненной потребностью каждого советского человека.

В статьях 21—24 даны основные законоположения об условиях и охране труда, его индустриализации, оплате и здоровье трудящихся.

Основным документом трудового законодательства являются «Основы законодательства по труду в СССР» (ОЗПТ).

Он был принят в 1970 г. взамен действующего в течение 50 лет КЗОТ (Кодекс законов о труде), утвержденного В. И. Лениным.

В ОЗПТ заложены законы по продолжительности рабочей недели, продолжительности отпусков, пенсионному возрасту, охране труда подростков и т. д. Здесь говорится об обязанностях администрации. Дополнительно приняты «Положение о социалистическом государственном предприятии» и закон «О трудовых коллективах и повышении их роли в управлении предприятиями, учреждениями, организациями».

Рабочая неделя в СССР имеет продолжительность: 30—36 ч для подземных работ, 41 ч — для работ, производимых на поверхности, 24 ч — для особо тяжелых цехов, например, связанных с работой со ртутью; при работе в ночное время продолжительность рабочей недели уменьшается на 6 ч.

Сверхурочная работа допускается в порядке исключения не больше 120 ч в год. При этом оплата ее должна производиться дополнительно: за первые два часа сверхурочной работы 50% ставки, за все последующие часы 80%. Компенсация за сверхурочную работу в виде отпусков запрещается.

В СССР минимальная продолжительность отпуска составляет 12 рабочих дней. Однако такую продолжительность отпуска имеет небольшое число трудящихся из-за наличия широкого диапазона дополнительных отпусков, которые плюсятся к указанным 12 дням. В порядке возрастания они могут быть предоставлены следующим образом (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Число дней дополнительного отпуска	Кому он предоставляется
3	Всем за непрерывный стаж работы более двух лет
3	За дежурства в добровольных народных и пожарных дружинах
6	Всем рабочим на горных предприятиях
12	Ведущим подземным и поверхностным рабочим, а также инженерно-техническим работникам (ИТР)
18	Рабочим тяжелых цехов, например, связанным с рудничной пылью
24	Рабочим тяжелых цехов, например, связанным с кесонными работами
30	Студентам-заочникам для сдачи экзаменов
36	Рабочим особо тяжелых цехов, например, связанным с работой со ртутью
48	Преподавателям высших учебных заведений, имеющим ученую степень и звание

У каждого трудящегося может быть несколько дополнительных отпусков, однако общая продолжительность отпуска не должна превышать 48 дней.

Пенсионный возраст в СССР наступает у женщин в 55 и у мужчин в 60 лет. Для сравнения, в Англии пенсионный возраст у женщин наступает в 65 лет, Канаде — 68 и в США — в 70 лет. В ряде капиталистических стран пенсионный возраст у женщин не нормирован.

9.3. ОСОБЕННОСТИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Условия работы на горных предприятиях являются одними из самых тяжелых, поэтому вопросам охраны труда здесь уделяется особое внимание.

В связи со сложностью производства строго нормировано обучение вновь поступающих на работу: на шахтах для вновь прибывших срок обучения равен 10 дням, на карьерах — 3. При переводе с участка на участок внутри предприятия срок обучения, соответственно, равен 5 и 2 дням. В особых случаях, например на шахтах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, первоначальный срок обучения возрастает до 14 дней.

На угольных шахтах, на пластах с высокой газоопасностью и опасностью внезапных выбросов продолжительность рабочей недели составляет 30 ч, в других очистных забоях — 36 ч.

В подземных условиях работа женщин запрещена. Подружки могут работать в шахте только с 18 лет. Горнорабочие выходят на пенсию на льготных условиях. По достижении ими пятидесятилетнего возраста и наличии 10 лет подземного стажа они могут выходить на пенсию с выплатой ее в размере 120 руб в месяц. Если рабочий продолжает трудиться в тех же условиях, то по достижении стажа 15 лет размер пенсии возрастет до 140, при стаже 20 лет и более — до 160 руб.

На горных предприятиях охраной труда занимаются:

отдел кадров — прием на работу, предоставление отпусков и т. д.;

отдел нормирования (организация труда — определение размера заработной платы, соответствия объемов работ нормам выработки и др.);

маркшейдерский отдел — определение объема выполненной работы, нарушений в залегании месторождения, влияющих на условия работы и т. д.;

аппарат главного инженера, отделы вентиляции и техники безопасности — разработка и соблюдение мероприятий по технике безопасности, контроль их выполнения; сотрудники аппарата обязаны регулярно посещать рабочие места с целью контроля за правильным соблюдением ТБ;

физиотерапевтические, психотерапевтические и другие кабинеты — обеспечение здоровья и нормальной психики трудящихся, снижающей подверженность рабочих травмам.

На горном предприятии с целью мобилизации трудящихся на выполнение плана, повышения ответственности администрации и профсоюзной организации за улучшение условий труда, ТБ, материально-бытовых условий и культурного обслуживания трудящихся заключается одногодичный коллективный договор между директором предприятия, именуемым в дальнейшем «Администрация», и рабочими, ИТР и служащими в лице председателя местного комитета профсоюза.

В коллективный договор входят обязательства администрации и местного комитета по обеспечению нормальной работы предприятия, включая различные стороны его деятельности.

9.4. НАДЗОР ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Надзор по охране труда, или осуществление контроля за правильным выполнением трудового законодательства, является важнейшей стороной обеспечения безопасного ведения работ по добыче полезных ископаемых. Не менее важна ответственность за состояние мер по охране труда.

В СССР надзор делится на государственный, внутриведомственный и общественный. В свою очередь, государственный надзор включает в себя контроль с помощью специальных уполномоченных (инспекторов) Госгортехнадзора, Госсаннадзора, Управления пожарной охраны МВД СССР и Госэнергонадзора, а также контроль со стороны профсоюзных органов и Советов народных депутатов. Госгортехнадзор, Госсаннадзор и другие осуществляют контроль за безопасным ведением работ, а профсоюзы и Советы народных депутатов — за соблюдением правовых норм организации труда.

Госгортехнадзор (государственный горно-технический надзор) СССР является государственным комитетом. Он имеет центральный аппарат в Москве и для непосредственного контроля на местах штаты инспекторов, размещаемых по округам, районам и участкам. Последние приближены к разрабатываемым месторождениям.

Обязанности Госгортехнадзора осуществляют горная и газовая инспекции и котлонадзор. Горная инспекция осуществляет контроль за правильной разработкой месторождений полезных ископаемых, безопасными границами выемочных полей, за соблюдением ПБ, горно-спасательной службой и т. д.

В функции Госгортехнадзора также входят участие в рас-

следовании несчастных случаев, издание инструкций, правил и т. д.

Работа инспекторов заключается в проверке на месте производства работ состояния ТБ. В случае обнаружения нарушений инспектор должен приостановить работы до полного устранения неполадок. За нарушение ТБ может быть наложен денежный штраф.

Государственный надзор профсоюзов состоит в инспекции труда, расследовании несчастных случаев, контроле работы общественных инспекторов, расходования средств на охрану труда, выделяемых местными комитетами.

Внутриведомственный (или внутрихозяйственный) надзор осуществляется аппаратом главного инженера и дирекцией предприятия с личным участием главного инженера, директора, их заместителей и помощников, начальников добычных, подготовительных участков, вентиляции и ТБ.

Общественные инспекторы ведут текущий контроль за безопасным ведением работ, промсанитарией и соблюдением законодательства по труду. Они избираются на один год на общем собрании профгруппы открытым голосованием.

За строгое соблюдение трудового законодательства, обеспечение необходимых мер по ТБ, безаварийную и безопасную работу предусмотрен целый ряд поощрений, включающий денежные премии, ценные подарки, бесплатные путевки в дома отдыха и санатории, туристические поездки и круизы. Наиболее отличившихся представляют к наградам, пропагандируют их в трудовом коллективе.

Ответственность за состояние ТБ и нарушение законов о труде несут все трудящиеся и весь административно-технический персонал. Ответственность делится на общественную, административную и уголовную.

К числу налагаемых взысканий в порядке подчиненности относятся: замечание, выговор, строгий выговор, перевод на нижеоплачиваемую работу на срок до 3 мес или понижение в должности на тот же срок (или до одного года), увольнение. Вопрос о нарушениях может быть передан на рассмотрение товарищеского суда или общественных организаций. Администрация может снизить виновным единовременное вознаграждение за выслугу лет до 25%, лишить полностью или частично премии, уменьшить или лишить вознаграждения по итогам работы предприятия за год.

Соблюдение правильности применения мер уголовной ответственности контролирует прокурорский надзор. Уголовные кодексы союзных республик предусматривают различные меры наказания за нарушение ТБ, промышленной санита-

рии и других правил, если они повлекли за собой несчастные случаи различной тяжести с людьми. Наказания могут быть в виде лишения свободы от одного года до семи лет.

10. ТРАВМАТИЗМ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

10.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТРАВМ

Все, что связано с травматизмом, подчинено одной цели — борьбе с ним, устранению причин, его порождающих, и повышению безопасности работ.

Основными вопросами травматизма, таким образом, являются причины получения травм, их изучение, исследование и предотвращение в будущем.

По источнику повреждения травмы бывают:

механические (переломы, ушибы, порезы и др. — 70—80% от всего количества травм);

химические (отравления газом, ожог кислотой или щелочью в течение одного дня — 10—15%);

термические (ожог, тепловой удар, обморожения — 5—6%);

электрические (электрический удар и ожог — 4—5%).

По тяжести (серьезности) повреждений травмы делятся на легкие (96—97%), тяжелые (1—1,5%) и со смертельным исходом (1,5—2%).

Из характеристик травм по тяжести видно, что травм со смертельным, или так называемым нулевым, исходом больше, чем тяжелых травм. Это объясняется уязвимостью организма человека, его хрупкостью по сравнению с окружающей средой. И если не обеспечивается должная защита человека от аварий, пусть даже несложных, то они, как правило, заканчиваются тяжелым повреждением или нулевым исходом.

Легкая травма — это временная потеря трудоспособности. Она может быть:

а) с потерей трудоспособности на 1 день и менее;

б) с частичной потерей трудоспособности в течение 1—2 дней (с переводом на другую работу);

в) с полной потерей трудоспособности в течение 1—3 дней;

г) с потерей трудоспособности более чем на 3 дня, но с возвращением на прежнюю работу.

В СССР с целью повышения безопасности работ учету легких травм уделяется особое внимание.

Тяжелая травма — это стойкая потеря трудоспособности, переход на инвалидность, получение увечья.

Размер аварии в данном случае определяется числом пострадавших. Поэтому травмы делятся на одиночные (до двух человек) и групповые — с числом пострадавших два и более человек, независимо от тяжести, но произошедшие от одной причины, в одном месте и в одно и то же время.

10.2. ПРИЧИНЫ ТРАВМАТИЗМА

Академик Н. В. Мельников предложил рассматривать четыре группы причин травматизма: социально-правовые, производственно-технические, организационно-технические и санитарно-гигиенические.

Социально-правовые причины травматизма: нарушения требований приема на работу по анкетным данным и состоянию здоровья, отсутствие необходимых инструктивных документов, нарушения норм и правил режима труда, отсутствие должной воспитательной работы в трудовом коллективе.

Производственно-технические причины травматизма: несовершенство способов добычи, систем разработки и горного оборудования.

Организационно-технические причины травматизма: нарушения паспортов работ (крепления, БВР и др.), отсутствие должного контроля за состоянием рабочего места, допуск в забой людей при неисправном оборудовании, обслуживание машин, оборудования в неблагоприятных горно-геологических условиях, несогласованность действий лицами, выполняющими производственные операции.

Санитарно-гигиенические причины травматизма: неудовлетворительное состояние или отсутствие спецодежды у работающих, недостаточное освещение рабочих мест, наличие шума, вибраций и сотрясений, неблагоприятные метеорологические условия, отсутствие личной гигиены у работающих.

10.3. ПОКАЗАТЕЛИ И УЧЕТ ТРАВМАТИЗМА

Основными показателями травматизма являются: абсолютное число травм, коэффициент частоты, коэффициент тяжести и средняя безопасность на 1 т добычи.

Абсолютное количество травм подсчитывается за отчетный период. Этот показатель включает легкие, тяжелые травмы и травмы со смертельным исходом.

Анализ абсолютного количества травм позволяет установить их динамику, сравнить с показателями предыдущих отчетных периодов, сделать выводы о путях их уменьшения.

Коэффициент частоты $K_{\text{ч}}$ — число несчастных случаев за отчетный период на 1000 рабочих или 100 000 чел/см. Определяется по следующим зависимостям:

$$K_{\text{ч}} = \frac{A}{B} \cdot 1000, \quad (10.1)$$

или

$$K_{\text{ч}} = \frac{A}{\Pi} \cdot 100\,000, \quad (10.2)$$

где A — общее число несчастных случаев;

B — списочное число рабочих;

Π — количество выходов на работу.

Коэффициент тяжести $P_{\text{т}}$ — число дней нетрудоспособности за отчетный период на 1000 рабочих или на один несчастный случай. Определяется по следующим формулам:

$$P_{\text{т}} = \frac{D}{B} \cdot 1000, \quad (10.3)$$

или

$$P_{\text{т}} = \frac{D}{A'}, \quad (10.4)$$

где D — потерянные дни;

A' — число травмированных лиц, временная нетрудоспособность для которых закончилась выздоровлением.

Таким образом, в СССР в коэффициенте тяжести тяжелые и смертельные случаи не учитываются. Это определяется общим направлением на широкую борьбу с травматизмом без особого концентрирования внимания на крупных авариях, повлекших за собой тяжелые и нулевые исходы.

Средняя безопасность по травматизму на 1 т добычи определяется по формуле

$$F = \frac{10^6}{T} (aS + bZ + 1), \quad (10.5)$$

где T — добыча в месяц;

S — число травм со смертельным исходом;

Z — число травм с тяжелым исходом;

l — число легких травм;

a и b — коэффициенты, характеризующие горно-технические условия, например для Карагандинского бассейна, $a \cong 100$ и $b \cong 50$.

Учет травматизма на горных предприятиях ведется в соответствии с «Положением о расследовании и учете несчастных случаев на производстве». Сведения о несчастных случаях регистрируются в медицинском пункте, где записываются все случаи и оказывается первая медицинская помощь. Отделом ТБ регистрируются и расследуются несчастные случаи с потерей трудоспособности не менее одного дня. Регистрация производится в специальной книге. Расследование заключается в составлении акта на каждого пострадавшего.

В акт включаются следующие сведения о несчастном случае: фамилия, имя, отчество пострадавшего; стаж работы; место происшествия; время и описание несчастного случая. Кроме того, составляется эскиз места происшествия и прилагаются медицинская справка о характере повреждения, протокол опроса и заключение проверяющего (или комиссии) с указанием виновных. Одним из основных документов акта является план мероприятий по устранению причин несчастного случая. Он составляется по следующей форме (табл. 10.1).

Таблица 10.1

№ п. п.	Мероприятие	Срок исполнения	Исполнитель	Отметка о выполнении

Отметка о выполнении делается не позднее одного месяца; если мероприятие связано с капитальными вложениями, то — ежемесячно.

Время на составление акта по легким травмам не должно превышать трех дней, по тяжелым травмам и со смертельным исходом — 7 дней. Если сроки увеличиваются, то это расценивается как сокрытие несчастного случая, что карается по закону.

Учету подлежат несчастные случаи с потерей трудоспособности три дня и более, а также с переводом на другую работу, тяжелые и смертельные. Особенностью этой формы учета является то, что данные по этим несчастным случаям заносятся в «Сведения о травматизме и мерах по их устранению». Сведения отсылаются в производственное объединение, участковые РГТИ и областной совет профсоюзов. Кроме того, акты о расследовании рассылаются в МакНИИ, ВостНИИ и их филиалы.

Тяжелые, смертельные и групповые несчастные случаи расследует комиссия.

Оповещение о несчастном случае может быть сделано самим пострадавшим или очевидцами. Горный мастер незамедлительно организует первую помощь пострадавшему, отправку его в медицинский пункт и извещает о случившемся начальника участка и дежурного по предприятию.

Профзаболевания учитываются и регистрируются медицинскими учреждениями. Мероприятия по устранению их причин разрабатываются предприятиями.

10.4. АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАВМ И ПРИЧИН ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Существуют статистический, технический, топографический, монографический и причинный методы анализа.

Статистический метод — изучение абсолютного количества несчастных случаев, их динамики, частоты, тяжести и др.

Например, за отчетный период на шахте произошло 20 легких травм и два тяжелых несчастных случая. За такой же предыдущий период было 22 легких травмы, одна тяжелая и одна со смертельным исходом. Анализ цифр показывает, что на шахте условия для работы улучшаются.

Технический метод — изучение несчастных случаев с помощью их распределения на группы: например, по стажу работы (рис. 10.1) и возрасту пострадавших (рис. 10.2).

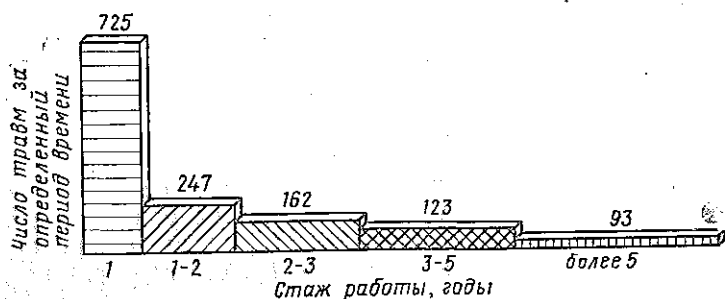


Рис. 10.1. Диаграмма, отражающая распределение травм за отчетный период в зависимости от стажа работы травмированных

Анализ графиков показывает, что наибольшее количество травм приходится на работающих, стаж которых составляет от 1 до 3 лет. Что касается возраста трудящихся, то здесь видно, что молодых рабочих до 22—23 лет необходимо еще обучать, а опытных в возрасте 40—45 лет могут подстергивать травмы из-за небрежного отношения к ПБ.

Распределение по общим признакам показано на примере карьеров Урала в начале 80-х годов (рис. 10.3). Максимальное количество травм приходится на транспортирование полезного ископаемого. Равноценны в этом отношении процессы обрушения руды с уступа, обслуживание механизмов и погрузка-разгрузка руды. На них необходимо сосредоточить внимание с целью повышения техники безопасности.

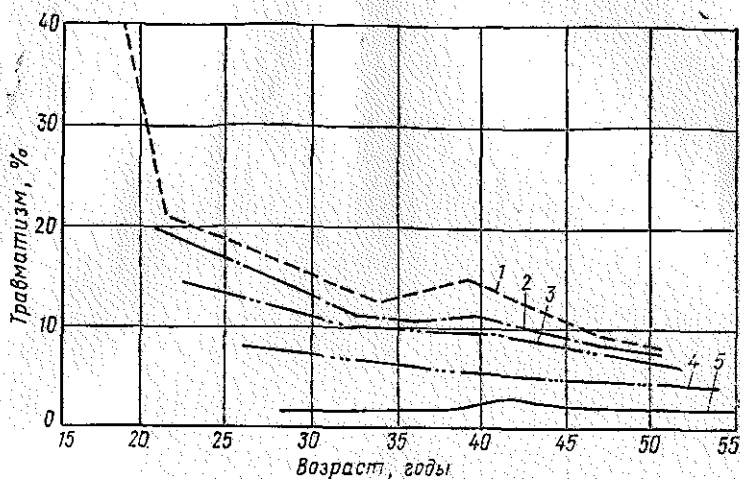


Рис. 10.2. Графики числа травм, распределенных по возрасту травмированных при стаже работы:

1 — один год; 2 — два года; 3 — три года; 4 — пять лет; 5 — более 10 лет

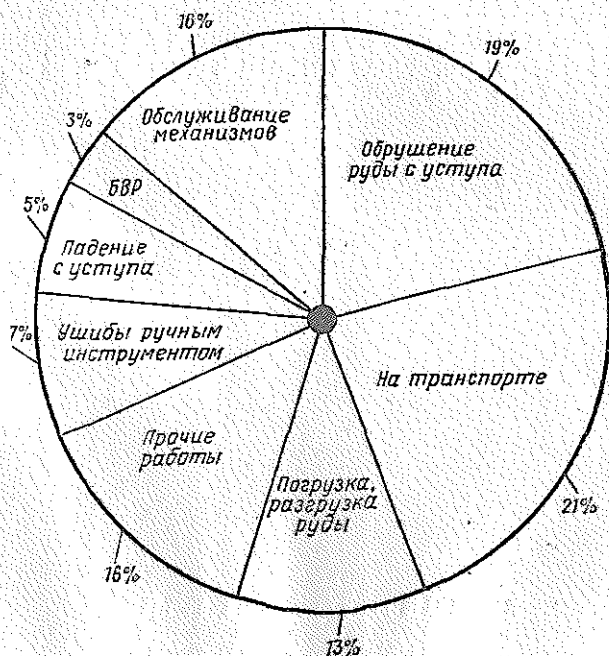


Рис. 10.3. Диаграмма распределения полученных в карьере травм по общим признакам

Топографический метод — изучение травм по месту происшествия или части тела с повреждением и с отметкой их на плане участка, шахты или силуэте человека.

Например, на шахте на план горных работ были нанесены условными знаками несколько травм, полученных с интервалом 1—2 мес. Они пришлись на узел сопряжения штрека с бремсбергом, где травма была нанесена транспортным сосудом из-за отсутствия требуемого зазора. Несложно было сделать вывод о том, что крепь, установленная на сопряжении, не соответствует горному давлению. В результате зазор для прохода людей постоянно уменьшался, что привело к несчастному случаю.

Монографический метод — изучение технологии работ в целом и определение на этой основе узких мест и мероприятий по их устранению.

Например, изучение технологии очистных работ при выемке мощного крутого пласта горизонтальными слоями с погашением потолочины указывает на наличие большого объема работ по ручной погрузке угля на конвейер в заходке с большим обнажением кровли. Это приводит к травмам из-за падения кусков пород. Следовательно, технология должна быть изменена с целью уменьшения травматизма в заходках.

Причинный метод — изучение причинных связей при получении травм (рис. 10.4). Использование причинных связей в значительной степени облегчает проводить расследование несчастных случаев и позволяет вскрыть то, что при обычном анализе может быть не учтено.

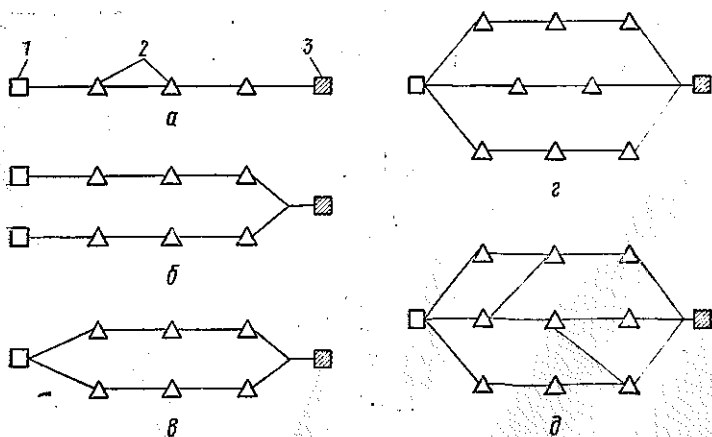


Рис. 10.4. Виды причинных связей:

a — последовательная; 1 — главная причина, 2 — прочие причины (следствие); 3 — результат; *б* — параллельная; *в* — круговая; *г* — концентрическая; *д* — сложная

При изучении отдельных несчастных случаев приходится сталкиваться с актами, в которых указаны 1—2 причины травмы. Как правило, они оказываются последними в общей цепи причин, а некоторые другие, предыдущие, которые могли бы привести к совершенно неожиданному и более реальному результату, выпущены из поля зрения.

Рассмотрим пример фактического разбора несчастного случая и сравним его с разбором на основе причинных связей. Ситуация при получении травмы была следующая. Рабочий находился в вентиляционном штреке, где был занят доставкой леса в лаву. В связи с тем, что монорельс в начале смены не работал, он стал носить лес вручную. На штрек выходил старый гезенк, который по инструкции следует обходить. Рабочий не обошел его и упал в гезенк, получив при этом тяжелую травму.

В фактическом акте, составленном по итогам расследования несчастного случая, главной причиной тяжелой травмы определено нарушение рабочим инструкции о том, что гезенк нужно было обходить, а в качестве мероприятий намечено провести внеочередной инструктаж с рабочими и рассмотреть данный несчастный случай на общем собрании шахты.

Однако была установлена другая логическая связь причин получения тяжелой травмы. Монорельс не работал в связи с тем, что резко понизилась температура в вентиляционном штреке. Температура понизилась, так как вышел из строя и длительное время не работал калорифер. Из-за низкой температуры из гезенка шел пар, снизивший видимость около гезенка. Кроме того, штрек был завален старым лесом из-за нарушения графика его вывозки, что затруднило перемещение рабочего. Следовательно, рабочий упал в гезенк не только потому, что он нарушил инструкцию, но и в результате других важных причин.

На основе данных анализа строим сетевой график причинных связей, устанавливая их обратным ходом, т. е. от результата — падения в гезенк (рис. 10.5). Из сетевого графика следует, что в случившемся виноват не только рабочий, нарушивший инструкцию, но и технадзор очистного участка (нарушение технологии доставки леса), механическая служба шахты (нарушение графика вывозки леса и задержка ремонта калорифера), а также технадзор шахты (недостатки в работе цехов шахты). Вывод является несколько неожиданным, но правильным, поэтому мероприятия, разработанные на основе этого анализа, должны быть эффективными.

Мероприятия приводятся в календарном плане (табл. 10.2), который легко выводится из сетевого графика.

Приведенные методы анализа и исследования травматизма могут применяться одновременно, что способствует лучшему

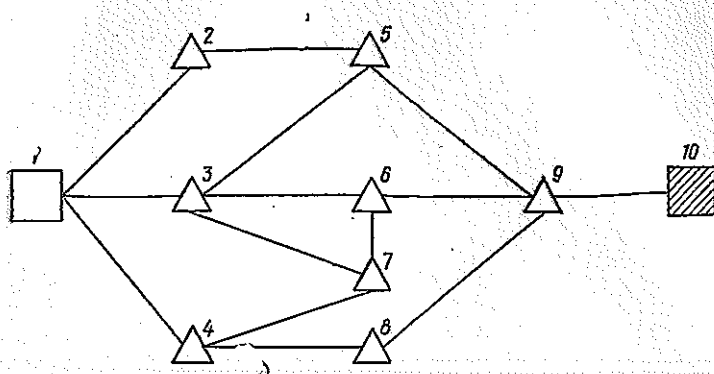


Рис. 10.5. Сетевой график сложных причинных связей при аварии на вентиляционном штреке шахты:

1 — главная причина; 2, 3, 4 — сопутствующие причины; 5, 6, 7, 8 — вынужденные причины; 9 — случайная причина; 10 — результат

Т а б л и ц а 10.2

Причина	Срок выполнения	Намеченное мероприятие по устранению причин	Отметка о выполнении
<i>Главная причина</i>			
Отсутствие технадзора со стороны шахты		Разбор причин в ПО совместно с руководством шахты	
<i>Сопутствующие причины</i>			
Остановка калорифера		Главному механику шахты составить постоянный график осмотра и ремонта калорифера	
Нарушение графика вывозки старого леса		Начальнику участка ВШБ составить постоянный график вывозки с ежесуточным контролем	
Отсутствие технадзора со стороны участка		Строго взыскать с надзора, повысить дисциплину и ответственность с помощью ежедневных планерок	
<i>Вынужденные причины</i>			
Остановка монорельса из-за резкого понижения температуры в выработке		Утеплить привод монорельса, обязать надзор участка вести за ним наблюдение	
Парение из гезенка		Тщательно перекрыть устье гезенка лядой на шарнирах	
Загроможденность вентиляционного штрека старым лесом		Расчистить выработку, старый лес подготовить к вывозке	

Причина	Срок выполнения	Намеченное мероприятие по устранению причин	Отметка о выполнении
Нарушение технологии по доставке леса в лаву		Предусмотреть в паспорте крепления и управления кровлей отключение монорельса и доставку леса в этом случае с помощью лебедки	
<i>Случайная причина</i>			
Нарушение инструкции по обходу гезенка		Провести дополнительный инструктаж с рабочими	

выявлению причин аварии. Существуют и другие методы: вероятностный, структуризации сведений о причинах и обстоятельствах несчастного случая и др.

10.5. МЕРЫ БОРЬБЫ С ТРАВМАТИЗМОМ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

Меры борьбы с травматизмом и профессиональными заболеваниями составляют широкий круг вопросов. Они делятся на организационно-технические, социально-психологические, эргономические и пр.

В группу организационно-технических мероприятий, являющуюся основной, входят: соблюдение газового и пылевого режима, содержание поверхности и подземных выработок, соблюдение паспортов работ, обеспечение безопасного транспорта полезного ископаемого и другие меры согласно ПБ.

Группа социально-психологических мероприятий включает укрепление трудовой дисциплины, повышение квалификации рабочих и ИТР, а также мероприятия психопрофилактики: коллективная гипнотерапия, эмоционально-волевая тренировка и др.

Группу эргономических мероприятий составляют: обеспечение рабочего пространства в пределах, учитывающих антропологические данные людей; недопущение сосредоточения работающих на стыке двух смен; учет рабочими своих «критических» дней, связанных с биоритмами и др.

К прочим мероприятиям относятся: обеспечение комплексной механизации и автоматизации производственных процессов; разработка способов безлюдной выемки и т. д.

Успешная борьба с травматизмом и профзаболеваниями

имеет большое общественное и экономическое значение. Ущерб от этих явлений складывается из снижения добычи, выплаты пособий по временной нетрудоспособности, оплаты регрессивных актов, оплаты пенсии при выходе на пенсию по инвалидности и, наконец, из расходов на охрану труда и ТБ, не предусмотренных в плане ликвидации аварий.

Например, на шахте «Украина» ПО «Ворошиловградуголь» ущерб по указанным причинам составил только за один год около 250 тыс. руб.

11. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРУДА

11.1. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР ПЛОЩАДКИ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО НОРМАЛЬНУЮ РАБОТУ

К санитарно-гигиеническим факторам относятся: содержание площадки, обеспечение спецодеждой и питанием, водоснабжение и медицинское обслуживание.

В содержание площадки входит главным образом озеленение и создание санитарно-защитных зон, т. е. расположение основных объектов на поверхности горного предприятия таким образом, чтобы они не загрязняли атмосферу, не ухудшали состав попадающего в шахты и карьеры воздуха; не создавали опасности для жилых массивов.

Пример образования защитных зон на угольной шахте дан на рис. 11.1, из которого видно, что расположение основных объектов шахты на поверхности подчинено обеспечению подачи чистого воздуха в клетевой ствол и защите жилых домов от пыли породного отвала и обогатительной фабрики.

Рабочим и служащим шахт и карьеров выдают бесплатно спецодежду и индивидуальные средства защиты от пыли, газа и шума. Спецодежда предназначена для защиты человека от неблагоприятного воздействия окружающих работающего предметов труда и боковых пород. Спецодежда не должна нарушать теплообмен организма.

Спецодежда вида диэлектрических галош и перчаток, предохранительных поясов и т. д. подвергается испытаниям в установленные сроки, о чем на них ставится отметка (клеймо).

Защитная каска должна быть достаточно прочной, а также негорючей, тепло- и морозостойкой, устойчивой к действию минеральных масел, кислот, щелочей и горячей воды. Она из-

готавливается из полиэтилена. Выпускается для подземных работ (тип А), проходчиков вертикальных стволов (Б) и поверхностных рабочих (В).

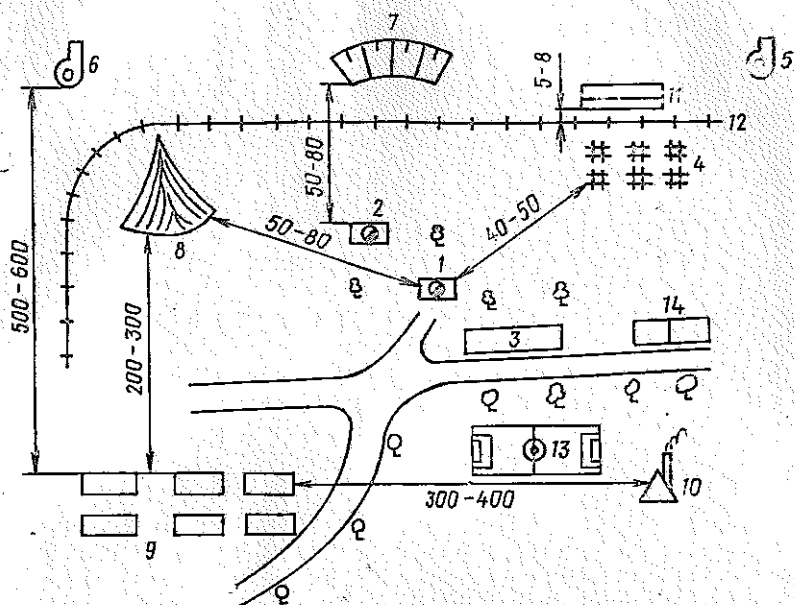


Рис. 11.1. Схема расположения зданий и сооружений на поверхности угольной шахты в соответствии с рекомендуемыми санитарно-защитными разрывами:

1, 2 — клетевой и скиповый стволы; 3 — административно-бытовой комбинат; 4 — лесной склад; 5, 6 — фланговые вентиляторы; 7 — угольный склад; 8 — породный склад; 9 — жилой поселок; 10 — обогатительная фабрика; 11 — цементный склад; 12 — железнодорожные пути; 13 — стадион; 14 — столовая

Для предупреждения воспалительных процессов в области коленных и локтевых суставов применяются наколенники и налокотники из полос микропористой резины толщиной от 8 до 12 мм.

К индивидуальным обязательным средствам защиты, которые выдаются каждому рабочему, относятся, главным образом, самоспасатели, противопылевые респираторы и антифоны.

Администрация предприятия обеспечивает необходимые условия для хранения, ухода и своевременного ремонта спецодежды.

Для обеспечения трудящихся питанием на горных предприятиях в здании АБК (административно-бытового комбината), кроме столовой, имеются буфет, место выдачи питьевой

воды и завтраков рабочим в спецодежде. В шахте организуется пункт приема горячей пищи в течение смены.

Водоснабжение предприятия делится на хозяйственное и питьевое. Хозяйственная вода, кроме поступления на противопожарные цели, в котельную, на обогатительную фабрику и т. д., идет и в душевые. Существуют следующие нормы расхода воды: 60 л на 1 кг сухой спецодежды в прачечной, 500 л/см на 1 душевой разбрызгиватель и 25 л на 7 чел/см в туалете.

Хозяйственная и питьевая вода должна удовлетворять определенному химсоставу. Так, в состав питьевой воды согласно ПБ входят: плотный остаток после выпаривания — 1000 мг/л, хлор — 20—30 мг/л, серная кислота — 80 мг/л, азотная кислота — 30—40 мг/л, азотистая кислота — следы, аммиак — следы, органические вещества — 2—3 мг/л. Общая жесткость воды — около 40°. Если питьевая вода не удовлетворяет нормативным требованиям, она должна быть подвергнута химической очистке от примесей или смягчению (уже-сточению). Вода, поступающая из шахты или карьера, перед употреблением ее в хозяйственных целях должна отстояться в водоотстойниках и быть очищена.

Медико-профилактическое обслуживание работающих на шахте начинается с медпункта, располагающего большим количеством кабинетов, таких, как зубной, ингаляторный и физиотерапевтический. Кроме того, на предприятиях имеются пункты медицинской помощи, находящиеся поблизости от места работы. Стационарное лечение проводится в клинической больнице, расположенной в месте проживания трудящихся.

В последнее время на горных предприятиях создаются кабинеты медико-психологической службы и профилактики травматизма. С целью проведения тренинга, гипнотерапии и психотерапии кабинеты оборудованы таким образом, чтобы человек был подготовлен и окунулся в атмосферу благожелательности и отдыха: кондиционирование воздуха, цвет стен, звукопоглощение, соответствующее освещение и др. В кабинетах имеются звуковоспроизводящий и проекционный аппараты, специальные музыкальные программы и диапозитивы с видами природы и культурных ценностей (рис. 11.2).

Специальный кабинет механотерапии предназначен только для профилактики травм. В нем сосредоточены различные тренажеры по типу спортивных: бегущая дорожка, велотренажер, голеностопотренажер и др. Ежедневно тренируя суставы и мышцы, трудящиеся более легко выполняют самые тяжелые работы и не так восприимчивы к различным заболеваниям типа ревматизма, радикулита и др.

В кабинете наркологии производится взятие трудящихся на учет, проводится поддерживающее лечение больных алкоголизмом и желающих избавиться от никотинизма. В гипнотории осуществляется лечение неврозов, ишемической болез-

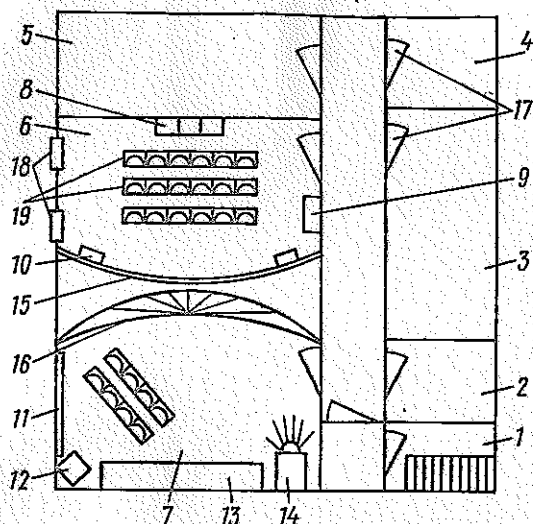


Рис. 11.2. Примерный план расположения помещений медико-психологической службы шахты:

1 — раздевалка; 2 — кабинет консультаций; 3 — кабинет физиотерапии (механотерапии); 4 — кабинет наркологии; 5 — гипноторий; 6 — кабинет эмоционально-волевого тренинга (ЭВТ); 7 — холл; 8 — аппаратная; 9 — воздухоувлажнитель; 10 — усилитель; 11 — тематический стенд; 12 — цветной телевизор; 13 — уголок живой природы; 14 — подсветка; 15 — экран; 16 — диорама живой природы; 17 — входные двери; 18 — кондиционеры; 19 — кресла

ни сердца, гипертонии и язвы. В кабинете эмоционально-волевого тренинга производится психодиагностика неадекватных форм поведения в экстремальных условиях и выработка устойчивости человека к действию при наземных и подземных стрессовых ситуациях. В аппаратной установлены стереомагнитофон, кино- и диапроектор. Темами для стенда являются «Здоровье», «Учитесь властвовать собой» и др. Содержанием диорама живой природы является изображение сельского пейзажа русской природы, уголка живой природы — аквариумы, клетки с птицами и пр.

Площадь всех кабинетов составляет 200—300 м².

Экономический эффект от работы службы подсчитывается по выражению

$$Э_{\text{с.л.}} = P_{\text{н}} (N_1 - N_2),$$

где N_1 и N_2 — потери рабочего времени до и после прохождения кабинетов;

$P_{\text{н}}$ — среднегодовой размер ущерба, нанесенный предприятию от травм и заболеваний.

Кроме экономического эффекта медико-психологическая служба приносит значительный социальный эффект — на предприятиях улучшается психологический климат, взаимоотношения между трудящимися, а также укрепляются семьи и увеличивается время, которое трудящиеся отдают воспитанию детей.

11.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ И ВЛАЖНОСТИ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА

Влажность, температура и скорость движения воздуха являются климатическими факторами рудничной атмосферы. В совокупности они создают комфортные условия труда, а нарушение каждого в отдельности приводит к различным заболеваниям и травмам, солнечным и тепловым ударам, простудным заболеваниям (ангина, катар верхних дыхательных путей, грипп, фурункулез, а также радикулит и ревматизм). Ревматизм и радикулит могут быть причиной длительной потери трудоспособности, а в отдельных случаях и инвалидности. Доля простудных и ревматических заболеваний в общем количестве всех видов заболеваний на ряде горно-рудных предприятий составляет, соответственно, около 50 и 15%. При частых заболеваниях государство несет большие расходы на амбулаторное и стационарное лечение трудящихся. По статистическим данным, за одно посещение врача государство платит 2 руб, а заболевание обходится в 114 руб.

Профилактическими мероприятиями по созданию нормальных условий и предупреждению заболеваний являются: устройство фотария, ингалятория и ультрафиолетовое облучение. На предприятии или группе шахт и карьеров имеется профилакторий, где трудящиеся в течение 15—25 дней проходят курс осмотра и лечения без отрыва от производства. В профилактории установлен соответствующий режим дня, обеспечено питание и отдых в ночное время.

Непосредственно на месте работ основными мерами против указанных заболеваний являются применение соответст-

вующей спецодежды (каска, куртки, жилеты и т. д.), а также устройство утепленных переходов и уменьшение перепада температуры на рабочих местах. В местах образования воды производится снижение влажности воздуха. Так, в стволах шахт устанавливают улавливатели воды (рис. 11.3), в го-

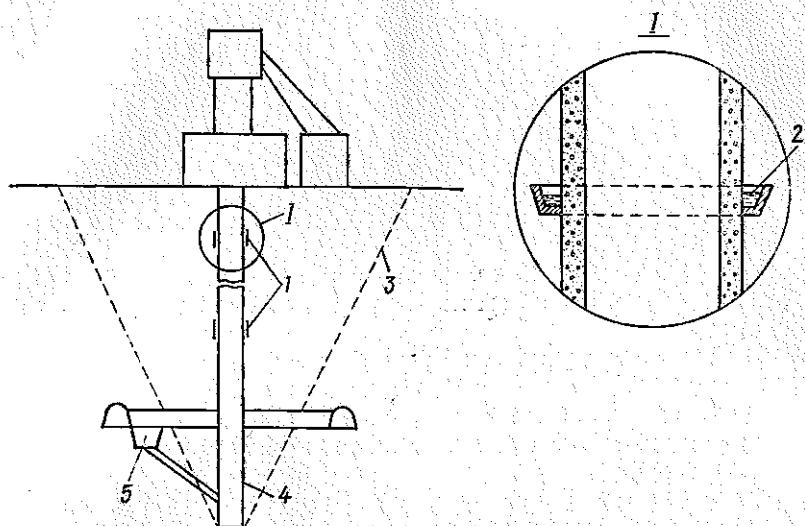


Рис. 11.3. Схема улавливания воды в стволе

1 — установка улавливателей; 2 — желоб; 3 — границы депрессионной воронки; 4 — зумпф ствола; 5 — камера водосборника

ризонтальных выработках — канавки. В очистных забоях угольных шахт воду, идущую с верхних отработанных горизонтов, направляют мимо забоя с помощью изменения угла наклона лавы. Общую влажность, создаваемую водой, идущей на орошение, уменьшают с помощью ее дозирования или перехода на сухое пылеулавливание.

11.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ РАБОТЕ С ПОВЫШЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ ВОЗДУХА

Горные работы при повышенном давлении воздуха связаны, как правило, с проходкой выработок в водоносных породах. Максимальное давление, которое допускается в кессонах, равно 350 кПа. Так как человеческий организм нормально функционирует при барометрическом давлении воздуха 1013 гПа (при поверхности тела $1,75 \text{ м}^2$ — 15—18 т),

то при повышенном давлении воздуха возникает кессонная болезнь: нарушается кровообращение, питание тканей кислородом, повышается парциальное давление, возникают болевые ощущения и функциональные расстройства.

При кессонной болезни из-за увеличения давления воздуха происходит перенасыщение организма азотом (сатурация) главным образом через легкие, кожу и слизистую оболочку глаз. Однако более болезненно проходит десатурация при декомпрессии из-за образования пузырьков азота, выходящих из крови, и закупорки сосудов. Развитию кессонной болезни могут способствовать плохие метеорологические условия, перегрев или переохлаждение организма, а также загрязнение воздуха парами и продуктами разложения смазочных материалов.

Кессоны снабжены шлюзовыми камерами, подъемниками, компрессорами и соответствующей сигнальной и контрольной аппаратурой.

В кессоне конструкции Крылова имеются два автономных шлюза: людской и грузовой. Людской шлюз состоит из круглой трубы длиной 6 м и диаметром 1,22 м и четырех прикамерков, расположенных в два яруса. Грузовой шлюз снабжен тремя прикамерками.

До входа в рабочую камеру рабочий попадает в пассажирскую прикамерку, где давление повышается постепенно. Вышлюзование проходит по нормам в зависимости от давления и времени нахождения в забое (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Давление воздуха, кПа	Период времени, ч			
	вся работа в забое	прохождение компрессии	прохождение декомпрессии	минимальные перерывы в работе
<i>При двух полусменах</i>				
10—130	5,3	0,2	0,3	9
320—350	2,3	0,3	2,3	10
<i>При непрерывном рабочем дне</i>				
до 130	5,2	0,2	0,3	—
320—350	3	0,3	2,5	—

Примечание. Число рабочих в забое — один на 3—4 м².

Мероприятия по охране труда, обязательные при работе в кессонах:

медленное нарастание (или снижение) давления в прикамерках;

выполнение рабочими легких упражнений во время декомпрессии;
 еженедельный медосмотр;
 лечение при острых заболеваниях рекомпрессией — вторичным повышением давления в лечебных шлюзах;
 при давлении до 190 кПа к работе допускают рабочих от 20 до 50 лет, при давлении более 190 кПа — от 20 до 45.

11.4. УМЕНЬШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА И ВИБРАЦИИ

Шум — совокупность большого количества различных звуков, меняющихся по частоте и силе. Различают широкополосный, тональный и импульсный звуки. Единицей измерения шума является децибел, зависящий от давления звукового источника. Децибел находят по выражению

$$L_{dB} = 20 \lg \frac{A}{B}, \quad (11.1)$$

где A — давление звукового источника;

B — минимальное давление, воспринимаемое слухом, $B = 10^{-12}$ Па.

Ощущение боли наступает при $A = 10^2$ Па. Частота колебаний звука, как и вибрации, измеряется в герцах. Органы слуха воспринимают колебания с частотой от 16 до 20 000 Гц.

Вибрации характеризуются их скоростью, которая находится по выражению

$$V = 0,63 f z, \quad (11.2)$$

где f — частота колебаний;

z — амплитуда колебаний.

Длительное совместное влияние шума и сотрясений нарушает слух, приводит к заболеваниям сердечно-сосудистой системы и плечевых суставов, ухудшает пищеварение. Наличие шума и сотрясений отрицательно сказывается на внимании работающего, притупляет его бдительность в отношении различных опасностей. Установлено, что громкость свыше 50 дБ утомляет слух и снижает работоспособность.

У громкой речи уровень силы звука составляет 60—70 дБ, при работе отбойного молотка — 70 дБ, пневматической погрузочной машины — 90—110 дБ и т. д. Допустимым пределом силы звука являются 70 дБ при частоте колебаний 1000 Гц, допустимые сотрясения — 25 Гц.

Производственные шумы делятся на три группы: механические (вибрационные), аэродинамические и магнитные. Механические шумы возникают от динамических явлений при работе механизмов. Шумы, возникающие при работе вентиляторов и движения жидкостей, относятся к аэродинамическим. Магнитные шумы образуются в электрических машинах, главным образом в зазоре между статором и ротором. Уменьшение шума и вибраций производится согласно указанным группам.

Для уменьшения механических шумов используются вибропоглощающие прокладки и муфты. В отдельных случаях целые узлы машин помещают в звукопоглощающие кожухи.

Для снижения аэродинамического шума применяют глушители: активные, реактивные и комбинированные. В активных глушителях шум поглощается материалом, в реактивных — за счет сопротивления, оказываемого звуку образующейся волной воздуха.

В вентиляторах устанавливают активные глушители в виде матов на входе и выходе струи (рис. 11.4). Реактивные глушители в виде камер применяют на выхлопе струи (рис. 11.5). С целью локализации шума применяют акустические плиты, звукопоглощающие покрытия из войлока, штукатурки, кирпича и бетона. Масса ручного инструмента (перфораторы, отбойные молотки) не должна превышать 10 кг, что позволяет снизить его вибрацию.

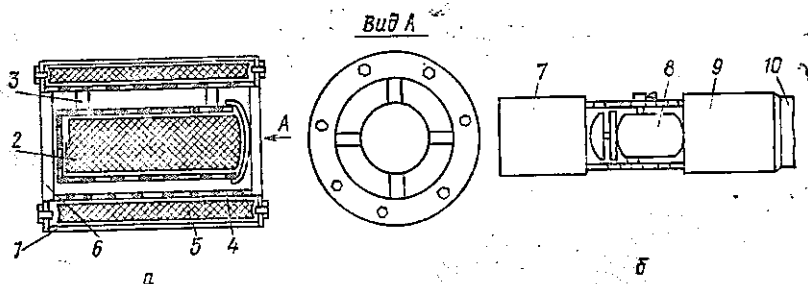


Рис. 11.4. Глушитель шума активного типа:

а — глушитель: 1 — корпус; 2, 5 — звукопоглощающие маты; 3 — вставка; 4 — перфорированная обечайка; 6 — крышка на резиновой подкладке; б — схема подключения глушителя к вентилятору; 7 — вентилятор; 8 — ВМП; 9 — глушитель на нагнетательной стороне; 10 — воздушный трубопровод

Для индивидуальной защиты от шума и вибраций работающие применяют внутренние антифоны — закладывают в ушные раковины вату, губки, эбонитовые шарики, шерсть,

пластмассовые или резиновые вставки, а также внешние в виде специальных шлемов.

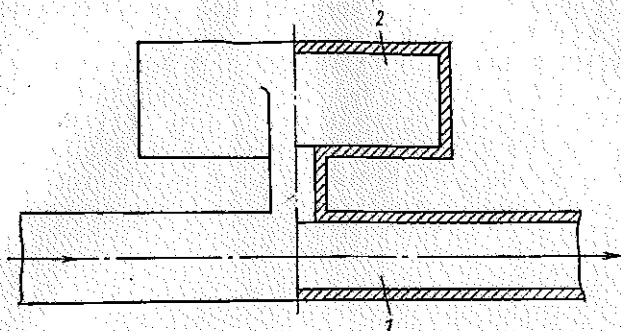


Рис. 11.5. Глушитель шума камерного типа:

1 — трубопровод; 2 — камера

11.5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ

Основными причинами возможного профессионального заболевания трудящихся — нистагма — являются плохая освещенность, частое чередование света и тени. В связи с этим существуют жесткие требования как к светильникам, так и к параметрам их установки.

При установке светильников в зависимости от назначения выработок нормируются либо расстояние между источниками света, либо между источником и забоем, либо количество светильников или их мощность. Если при установке светильников требуется освещать какую-либо определенную плоскость, то нормируется освещенность в люксах.

Например, при подземной добыче, как установлено, индивидуальных (головных) светильников недостаточно для освещения места работ, поэтому «Правилами технической эксплуатации» (ПТЭ) предусмотрена установка во всех выработках постоянных (стационарных) светильников. В откаточных выработках расстояние между светильниками колеблется в зависимости от мощности ламп в пределах 2—10 м. Для освещения плоскости забоя минимальная требуемая освещенность равна 5 лк, мест перегрузки — 10 лк и т. д.

С целью увеличения освещенности производят побелку выработок. Для устранения мигания светильников допускается отклонение напряжения в осветительной сети не более 4% номинального.

Светильники делятся на стационарные и переносные. Стационарные светильники, как правило, люминесцентные, богатые ультрафиолетовыми лучами. Их целесообразно устанавливать по оси выработок.

В качестве переносных светильников в шахтах используются головные аккумуляторные лампы: «Украина-4» (СГУ-4) и «Кузбасс», которые снабжены доливными батареями. Более совершенные и безопасные светильники с герметичными батареями СГГ-3 и СГГ-1К, в которых электролитом служит раствор едкого калия с добавкой едкого лития. Световой поток светильников 30 лк при продолжительности горения не менее 10 ч.

На многих шахтах лампы автоматизированы. При выезде из шахты рабочий проходит в ламповую через специальный контроль, который открывает вход с помощью луча лампы. Если светильник имеет меньший световой поток, чем рассчитанный на остаточный после 10—11 ч работы, то рабочий не может войти в ламповую и будет вынужден вызвать дежурного слесаря и сдать светильник на ревизию.

В некоторых случаях при подземной добыче используют светильники с другим принципом действия. Так, в шахтах, опасных по газу (CH_4 или CO_2) и пыли, а также по внезапным выбросам, могут применяться индукционные и пневмоэлектрические светильники. Первые действуют от тока, индуцируемого во вторичной обмотке, вторые — от сжатого воздуха, вращающего магнитно-электрический генератор. Однако мощность указанных ламп небольшая.

Освещение карьеров делится на общее, местное и комбинированное. Общее предназначено для освещения всего карьера, местное — только для освещения его отдельных участков. Как общее, так и местное освещение осуществляются главным образом с помощью прожекторов. Для освещения больших карьеров применяются ксеноновые установки типа ДКСТ мощностью 20 000 Вт.

Уменьшение пульсации производится за счет принятия оптимальных частот порядка 300—400 Гц.

Необходимое число прожекторов находится из выражения

$$n = \frac{E_n K S}{F_d \eta U Z}, \quad (11.3)$$

где E_n — нормируемая наименьшая освещенность;
 K — коэффициент запаса, $K=1,5$ при лампах накаливания, $K=1,7$ при газоразрядных лампах;
 S — освещаемая площадь;
 F_d — световой поток;
 η — КПД прожектора;

U — коэффициент использования светового потока, $U=0,5-0,8$;

Z — коэффициент неравномерности освещения, $Z = \frac{E_{\min}}{E_{\phi}}$; (11.4)

$E_{\min}$ — допустимая минимальная освещенность;

E_{ϕ} — средняя необходимая освещенность.

Пржекторы могут устанавливаться индивидуально или группами. Большое значение имеет высота и угол подвески прожекторов, которые находят по специальным таблицам.

12. ГАЗОВЫЙ И ПЫЛЕВОЙ РЕЖИМЫ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Наибольшую опасность на горных предприятиях представляют рудничный газ и пыль. Они взрываются в определенной смеси с рудничным воздухом. Кроме того, рудничная пыль может быть источником профессионального заболевания — пневмокониоза. Основные способы борьбы с газом и пылью на шахтах и в карьерах были описаны ранее. Однако только при определенном режиме работы предприятия указанные способы борьбы могут принести необходимый эффект.

12.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГАЗОВОГО РЕЖИМА

В режим входят:

- а) контроль за содержанием метана в рудничном воздухе;
- б) контроль за распределением воздуха между выработками;
- в) контроль за защитой электрооборудования;
- г) строгое соблюдение правил безопасности при различных работах и ремонте электрооборудования;
- д) выполнение мер по выводу людей и ликвидации газирования выработок в начальный период;
- е) обеспечение работающих во время аварий дополнительным количеством воздуха, респираторами, самоспасателями и медикаментами.

Содержание метана в шахтах, где установлен газовый режим, определяется с помощью текущих и периодических замеров.

При текущих замерах метан замеряется во всех выработках: в шахтах сверхкатегорийных и *III* категории — не менее трех раз в смену, на шахтах *I* и *II* категории — не менее двух раз, в негазовых шахтах — только после взрывных работ. Текущие замеры производятся с помощью интерферометров.

Периодические замеры в отличие от текущих делаются на основе проб воздуха в лаборатории. При взятии проб обязательно присутствие представителя ВГСЧ. Взятие проб производится во всех выработках шахт со следующей периодичностью: на сверхкатегорийных шахтах и зарядных камерах всех шахт — не менее трех раз в месяц, на шахтах *III* категории — два раза, *I* и *II* категории — один раз.

Контроль* за распределением воздуха осуществляется с целью предотвращения взрывоопасных ситуаций. Он входит в функции участка ВТБ.

Основными мерами по выводу людей и ликвидации загазованности участка в начальный период являются:

- отключение электроэнергии;
- сообщение о случившемся начальнику участка, диспетчеру и дежурному по шахте;
- вывод людей из загазованного участка;
- установка специального знака в устье выработки о запрещении входа в нее;

выставление постов на входе и выходе из выработки;

принятие мер по разгазированию участка.

Если загазирование было вызвано остановкой вентилятора на время более 30 мин, то людей необходимо вывести к стволу со свежей струей. Не допускается включение электрооборудования сразу после пуска вентилятора без тщательного проветривания (разгазирования) и замера метана.

Разгазирование осуществляется в присутствии лица ВТБ в соответствии с мероприятиями, утвержденными главным инженером.

Замер метана при разгазировании производится как вблизи каждой машины, так и в 20 м от них во всех прилегающих выработках.

При авариях, особенно связанных с воспламенением метана или взрывом его, внезапными выбросами и суффляжными выделениями газа, основной причиной травмирования людей является резкое уменьшение количества кислорода. Поэтому для сохранения жизни работающих и вывода их из аварийно-

* Описание контроля за защитой электрооборудования и соблюдением ПБ при различных работах производится в специальных курсах горного дела.

го участка при аварии должно производиться дополнительное обеспечение воздухом, респираторами, самоспасателями и медикаментами.

Рассмотрим это на примере шахты, опасной по внезапным выбросам, на крутом пласте. В число необходимых мероприятий входят следующие:

1. Закольцевание магистральных трубопроводов сжатого воздуха на очистном участке (рис. 12.1).

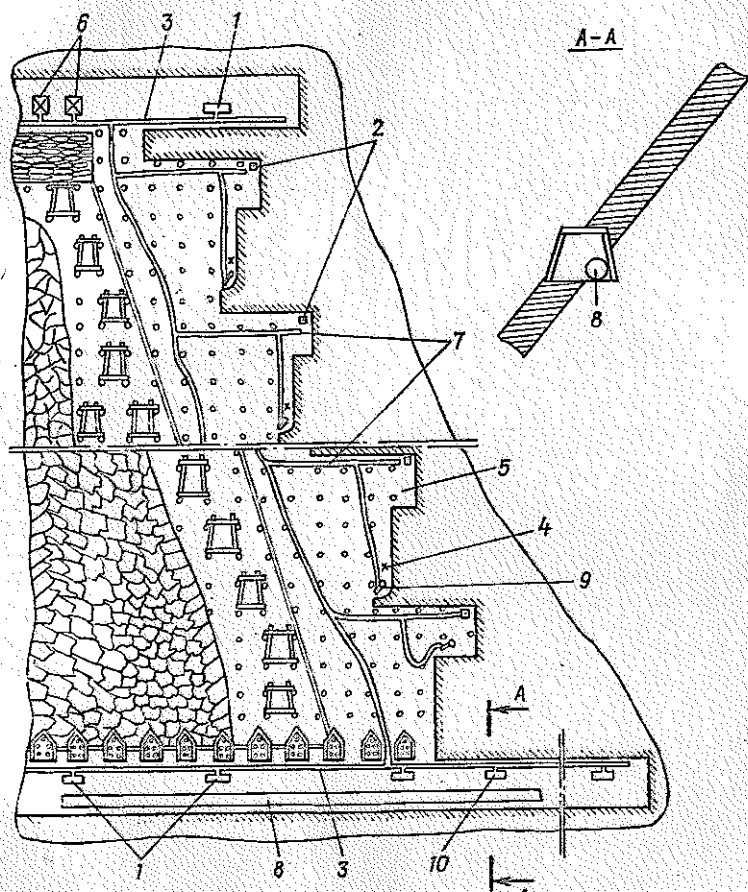


Рис. 12.1. Обеспечение безопасности людей при аварии на шахте, опасной по внезапным выбросам:

1 — аварийное воздухообеспечение «Воздух-3»; 2 — переносной спасательный аппарат; 3 — магистральный трубопровод сжатого воздуха; 4 — малогабаритный изолирующий самоспасатель ШСМ; 5 — спасательная ниша; 6 — передвижной спасательный пункт; 7 — воздушный шланг к отбойному молотку; 8 — трубопровод для проветривания и пролаза людей в забой при аварии; 9 — отбойный молоток с аварийным аппаратом «Воздух-2»; 10 — место хранения самоспасателей

2. Установка в штреках переносного группового воздухообеспечения «Воздух-3», рассчитанного на подачу воздуха в количестве 200—300 л/мин. Подача воздуха происходит автоматически при повороте раструба на 90° (рис. 12.2).

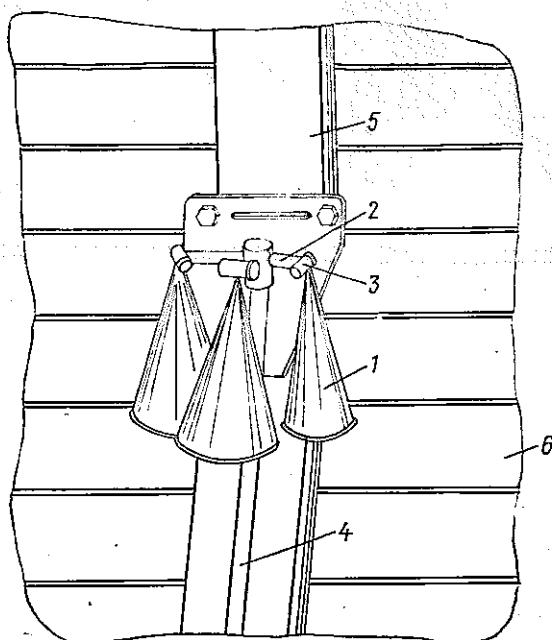


Рис. 12.2. Установка для дыхания во время аварии «Воздух-3»:

1 — раструб; 2 — распределитель воздуха; 3 — поворотный штуцер; 4 — трубопровод сжатого воздуха; 5 — рама крени; 6 — затяжка

3. Установка в лаве штуцера аварийного воздухообеспечения «Воздух-2» для подключения рабочего к сжатому воздуху и подхода таким образом к спасательной нише.

4. Применение в нише спасательных аппаратов ПСА (переносной спасательный аппарат), имеющих два раструба для подачи воздуха и двух дополнительных самоспасателей ШС-7.

5. Использование передвижных спасательных пунктов (ПСП) с автономным воздухообеспечением из транспортного баллона емкостью 6000 л, резервом из 12 самоспасателей ШС-7, двумя масками для дыхания и микрофоном для громкоговорящей связи с диспетчером шахты.

6. Прокладка вентиляционного металлического трубопро-

вода диаметром 0,8—1,0 м, длиной 200—250 м для эффективного проветривания участка при аварии и пролаза бойцов ВГСЧ к пострадавшим.

12.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПЫЛЕВОГО РЕЖИМА

Основные положения пылевого режима для шахт, опасных по пыли, во многом аналогичны положениям газового режима.

Периодичность контроля за содержанием пыли в рудничном воздухе зависит от конкретных условий, но осуществляется не реже одного раза в месяц.

Обязательной проверке на запыленность подвергаются выработки, в которых осуществлены мероприятия по борьбе с пылью. Проверка делается до и после осуществления мероприятия.

Строго нормировано определение взрывчатости и содержания негорючих веществ в смеси угольной и инертной пыли. Этот контроль осуществляют МакНИИ и ВостНИИ или их филиалы в различных бассейнах.

Повторная проверка пыли на взрывчатость производится через один год для угля с выходом летучих веществ менее 10% и с нормой негорючих веществ в смеси менее 60%. Такая проверка делается через три года, если смесь имеет норму негорючих веществ 60% и более, т. е. повторная проверка осуществляется чаще для тех пластов, которые в настоящее время не являются опасными по взрывчатости пыли, но в любой момент могут стать опасными.

Другие положения пылевого режима, отличные от газового, касаются мер по борьбе с пылью (см. п. 1.4.4). Этот круг мер является достаточно большим, так как в него входят мероприятия по борьбе с пылью перед выемкой полезного ископаемого, при ее выделении из отбитой массы, ее распространении по выработкам, осаждении по боковым стенкам выработок и т. д. Сюда входят также положения пылевого режима, относящиеся к борьбе с воспламенением пыли и локализацией взрыва, т. е. осланцевание и сланцевые заслоны.

12.3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПЫЛИ

При работе в атмосфере, где снижение запыленности до санитарных норм затруднительно по местным условиям (на-

пример, около комбайна) или из-за большого количества respirальной пыли, обязательно применяют индивидуальные средства защиты — противопылевые респираторы ПРШ-742, Ф-62ШМ, У-2К, ШБ-1 «Лепесток» (СССР), Medi-14022 (ГДР), РМ-3 (ПНР), РК-1000 (Великобритания) и др. Все респираторы несложны по конструкции и имеют небольшой вес, позволяющий производить в них самые тяжелые работы. Снижение поля зрения в них не более 25%.

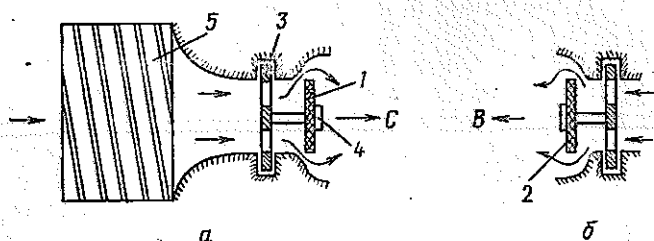


Рис. 12.3. Принципиальная схема клапанов вдоха (а) и выдоха (б):
 С — направление вдыхаемого воздуха к органам дыхания; В — направление выдыхаемого воздуха в атмосферу;
 1, 2 — мембраны; 3 — неподвижное жесткоперфорированное седло; 4 — ось мембраны; 5 — фальц

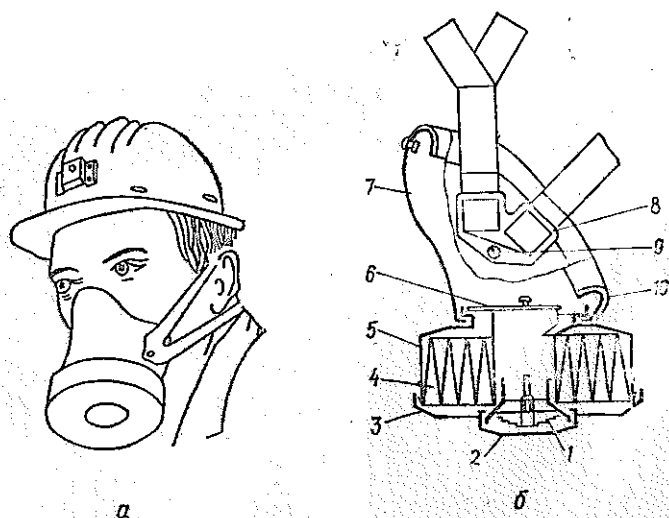


Рис. 12.4. Противопылевой респиратор ПРШ-742:

а — укрепление респиратора на голове; б — конструктивная схема:
 1 — клапан выдоха; 2 — защитный козырек; 3 — крышка; 4 — фильтр; 5 — боковина;
 6 — клапан вдоха; 7 — маска; 8 — ремень оголовья; 9 — штифт; 10 — бортовой валик (обтюратор)

Защита от пыли производится и с помощью специальной очищающей воздух маски.

Очистка воздуха производится при помощи фильтров из ткани «ФПП», причем сопротивление входу достигает не более 4 даПа, выдоху — 3 даПа, общее сопротивление при непрерывной 5-часовой работе — 10 даПа. Эффективность пылезадержания в респираторах составляет около 98—99%. Для направления движения воздуха через фильтр служат два клапана. Когда происходит вдох, один из них (клапан вдоха) открывается, а другой закрывается. При выдохе происходит обратное действие. Принципиальная схема клапанов приведена на рис. 12.3. Клапан вдоха устанавливается за фильтром, клапан выдоха — сразу на выходе воздуха из маски.

Общий вид одного из современных респираторов ПРШ-741 показан на рис. 12.4. Его особенностями являются жесткое закрепление фильтра и расположение клапанов в одной плоскости, что позволило еще более упростить конструкцию и повысить эффективность работы респиратора. Респиратор ПРШ-742 может быть использован со шлемом-маской, включающим смотровой прозрачный экран, который обеспечивает защиту глаз от пыли и газа.

13. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ

Вопросы техники безопасности горных работ применительно к настоящему курсу частично излагаются в [7, 9, 16, 19, 20, 30] при описании конструктивных элементов технологии, которые проектируются с учетом полного удовлетворения ТБ. Поэтому в данной главе особое внимание уделено анализу травм и мероприятиям, непосредственно предохраняющим или защищающим работающего от повреждений и профессиональных заболеваний.

Наибольшее количество травм в горной промышленности происходит от обрушения пород, на транспорте, при работе с механизмами и т. д. (в значительно меньшем количестве). Травмы на поверхности составляют около 10%.

Взрывы газа и пыли, как показывает анализ случаев травматизма за последние 35 лет, происходят в 40—50% в забоях подготовительных выработок; 20—28% — в очистных забоях и в выработанном пространстве; 14—20% — в подготовительной выработке (исключая забой); 3—9% — в сква-

жинах при бурении; 3—5% — в забоях стволов, а также в камерах и старых выработанных пространствах и т. д.

В угольных шахтах при работе с механизмами 30% травм приходится на очистные комбайны, 5% — проходческие, 20% — скребковые конвейеры, 3% — ленточные конвейеры, 8% — механизированные крепи, 13% — погрузочные машины, 7% — лебедки и 14% — на прочие машины и механизмы; в рудных шахтах — 26—30% травм приходится на скреперные лебедки, 20—24% — бурильные установки, 22—26% — погрузочные машины, 6—10% — лебедки, 8—11% — конвейеры и 7—10% — на прочие машины и механизмы.

В карьере травмы, полученные от электрического тока, составляют 30—34%, на транспорте — 23—85, от механизмов — 15—18, кусками породы — при погрузке или БВР — 11—13, ВВ — 4—6%. Травмы от электрического тока происходят из-за распрестанций (22—28%), воздушных линий (10—16%), контактной сети электровозной откатки (12—16%), кабелей экскаваторов (8—12%), электрооборудования экскаваторов (12—16%), осветительной аппаратуры (4—6%), электросварки (3—5%) и прочих механизмов (4—6%).

Техника безопасности очистных работ должна быть совершенной, так как здесь находится основное звено горного производства — добыча полезного ископаемого, и срыв ее из-за отсутствия ТБ недопустим. Здесь сосредоточено большое количество людей, причем именно в очистных забоях происходят горные удары, внезапные выбросы и наиболее опасные обрушения пород и т. д.

Безопасность работ в очистных забоях зависит от способа отделения полезного ископаемого и крепления боковых пород, т. е. механизированной выемки или с применением БВР. В карьерах безопасность работ в забое определяет операция по погрузке полезного ископаемого экскаватором в транспортное средство.

Анализ травм, происходящих в очистных забоях, показывает, что основное количество их происходит из-за обрушения пород кровли или обрушения пород в уступах при погрузке. Обрушение пород связано с недопустимыми обнажениями кровли, неправильной передвижкой крепи, с применением способа управления кровлей, не соответствующего условиям, и другими операциями в очистном забое. К другим причинам травм в очистных забоях шахт относятся газодинамические явления: отжим угля, стрельания, горные удары, внезапные выбросы, а также взрывы газа, неправильные работы с механизмами и ведение БВР. В процентном отношении при механизированной выемке в среднем за 10 лет травмы от обрушения происходили при отбойке (22—25%), погрузке и зачистке (12—14%), управлении кровлей (10—12%), буре-

нии шпуров в нишах (4—5%), передвижке оборудования (2—3%), ремонте крепи, т. е. обнажении кровли (17%). При этом 9—12% при демонтаже оборудования и 6—8% при ликвидации выработки и 17—21% прочие.

При буровзрывной выемке травмы происходят при бурении шпуров и зарядании скважин (8—12%), осмотре забоя после взрыва (19—23%), оборке нависающих пород (16—21%), погрузке (14—18%), копании лунок (15—17%), установке и ремонте крепи и заполнении пустот (5—9%).

При работе с механизмами основные поражения происходят из-за электротока, при этом до 60% случаев при прикосновении к металлическим частям оборудования, находящегося под напряжением. Основными причинами, по которым металлические части оказываются под напряжением, являются: пробой изоляции током (55%), внешние повреждения изоляции (до 31%), перепутывание жил и подключение токонесящей жилы к заземляющей жиле (до 8%) и повреждение аппаратуры (до 6%).

В основе безопасного ведения работ лежат паспорта крепления и управления кровлей. Иными словами, это порядок ведения очистных работ, так как он регламентирует выполнение всех операций в забое, начиная от отделения полезного ископаемого и кончая доставкой материалов и оборудования. В паспорте ничего не должно быть упущено в смысле исключения причин травматизма.

Например, при достаточном соответствии горно-геологическим условиям в паспорте указывается время работы отбойного органа при механизированной выемке, вид и параметры установки крепи, параметры искусственного обрушения кровли или закладки, освещение и безопасные места нахождения людей при работе.

При буровзрывной выемке, например при массовом применении ВВ, в паспорте предусматриваются: охрана опасной зоны и меры против преждевременных взрывов и отказов, контроль состава рудничной атмосферы после взрыва, защита выработок и коммуникаций от действия ударных воздушных волн, пожаров и выделения газов.

Для предупреждения опасности обрушения пород, взрывов газа и пыли, внезапных выбросов следует усилить внимание к работе забоя до первой посадки основной кровли, около геологических нарушений и при переходе его, под и над целиками и т. д. Необходимо вести тщательное наблюдение за состоянием боковых пород с целью прогнозирования обрушений*, остукивать породы, не допускать зависаний, а также

* Детальные сведения о наблюдениях за состоянием боковых пород приведены в учебном пособии по курсу «Технология подземной добычи угля» [19, 20].

строго следить за появлением предупредительных признаков аварий и принимать меры для их предотвращения, особенно внезапных выбросов угля и газа.

Особо тщательно следует проводить работы по закладке куполов в кровле, которые могут явиться причиной внезапного обрушения пород. Эта мера аналогична не только для очистных забоев, но и для выработок другого назначения.

При оборке пород рабочий должен находиться в кабине или под защитой специального зонта.

Меры предупреждения опасности при работе с механизмами связаны главным образом с защитой от поражения электротоком непосредственно от механизмов или от иницируемых ими взрывов газа и пыли. Опасность от движущихся частей и несогласованности действий работающих эффективно устраняется простыми средствами.

Необходимо следить, чтобы была обеспечена нулевая защита, самоконтроль внешних участков цепей управления, защита от самовключения при повышении напряжения в питающей сети, автоматический контроль заземления корпуса машины с помощью обособленной электрической схемы, работа выключателей (реле, кнопок) на размыкание цепи управления.

Меры безопасности при БВР, подробности которых изложены в соответствующих ПБ, охватывают доставку ВВ, заряджание, монтаж взрывных сетей и производство взрывов.

ТБ подготовительных работ. На подготовительных работах травм больше, чем на очистных, что объясняется спецификой проведения выработок: большими объемами боковых пород, объемом и разноплановостью выполняемых операций. Причинами травм являются: падение кусков породы (55%), неправильная эксплуатация комбайнов и погрузочных машин (10%), конвейеров, бурового и другого оборудования (7%), ядовитые газы и продукты взрывов (6%), электрический ток (4%), неправильное обращение с ВВ (5%). Другие причины составляют 13%.

Падение кусков при буровзрывной проходке происходит при обурировании забоя (8—12%), осмотре забоя после взрыва (12—16%), оборке нависающих кусков (12—14%), разборке и погрузке вручную горной массы (14—18%), копании лунок под ножки крепи (15—17%), ремонте поврежденных взрывом рам (8—12%), закладке пустот между крепью и массивом (2—4%), установке рам крепи (10—14%) и прочих процессах (6%).

В паспорте проведения подготовительных выработок обособливается установка временной или постоянной крепи или ее отсутствие, а также форма крепи и усиления сопряжений с другими выработками, оборка пород, осмотр незакрепленной

части и освещение выработок, метод снятия крепи при ремонте или ликвидации выработки.

Мерами предупреждения аварий в подготовительных выработках являются: тщательное расклинивание крепи; устройство ограждений или предохранительных крепей от падающих кусков. На больших глубинах для исключения внезапных поднятий почвы, обрушений, ударов и выбросов необходимо делать разгрузочные щели, врубы, подработку и надработку. Меры безопасности при работе с механизмами являются общими для всех горных работ.

ТБ вскрытия связана с проходкой стволов, штолен, траншей и капитальных выработок.

Основными причинами травматизма при проходке вертикальных стволов являются: обрушение боковых пород в процессе проходки и бетонной крепи при деформации ствола (около 60%), падение предметов и оборудования (12—14%), падение людей (6—8%), скопление воды и капеж (4—6%), БВР (3—4%) и прочие, включая работу с механизмами, (11%).

Приведенные цифры показывают, что кроме общей причины для подземных работ (обрушение пород) ТБ проходки стволов во многом зависит от организации работ, имеющейся сигнализации и согласованности действий работающих. Это учитывается в паспорте проходки стволов, особенно по мощности оставленных целиков полезного ископаемого, толщине крепи, качества бетона, работе с бадьей и др.

Предотвращение аварий и ТБ проходки стволов обеспечиваются постоянным контролем за состоянием боковых пород и крепи (временной и постоянной), постоянной оценкой агрессивности воды к материалу крепи (не реже двух раз в год). Большинство работ по проходке стволов должно производиться последовательно; на производство расчески составляется специальный паспорт. Восстановление крепи производится участками сверху вниз. При всех работах обязательно возведение предохранительных полков и ограждений.

При углубке стволов отличие мер безопасности состоит в устройстве перекрытий, обеспечивающих ТБ.

Много общего по ТБ проходки стволов имеет проходка восстающих подготовительных выработок, особенно с применением БВР.

ТБ поддержания бортов карьеров и отвалов определяется рядом факторов: расположением плоскостей напластования пород и трещин, углом естественного обрушения пород, глубиной разработки, типом применяемого погрузочного оборудования, системой разработки, высотой уступа, обводнением и др. Параметры работ, обеспечивающие устойчивость пород и ТБ, определяются технологией.

Меры, предотвращающие обрушение бортов карьеров и

уступов, следующие: уступы следует располагать перпендикулярно основным плоскостям напластования и направлениям трещин; на рабочих уступах угол откоса α должен быть больше угла естественного обрушения ϕ' , на нерабочих $\alpha \cong \phi'$ в зависимости от состава пород (табл. 13.1, где β — угол наклона борта карьера).

Таблица 13.1

Порода	α в рабочем уступе, град	α в нерабочем уступе, град	β при глубине, град	
			до 90 м	до 300 м
Монолит, скальная	до 90	75—80	60—70	50—55
Изверженная, скальная	70—80	70—75	50—60	45—50
Осадочная, скальная	60—70	60—65	45—50	35—45
Полускальная и сухие песчаники	45—60	40—50	30—45	25—35
Песчано-глинистая	35—45	25—45	20—30	—

В россыпных месторождениях α не более 45° в сухих породах, не более 30° — во влажных, высота уступа h при ручной работе не более 2—3 м, при работе экскаваторами — не более высоты черпания. При механической лопате α рабочего уступа принимают до 80° , роторном экскаваторе — 65° (min $45—50^\circ$), многочерпаковом — min 30° . Высота уступа должна быть при одноковшовом экскаваторе в крепких породах не более 1,5 м высоты черпания, в мягких — высота черпания + 1,5 м. Производят предварительное и текущее осушение пород дамбами, дренажными скважинами, нагорными канавами. При борьбе с оползнями α уменьшают на $5—10^\circ$ в водоносных породах, β — на $3—5^\circ$ с глубиной на 100 м. Укрепляют подошвы отвалов сваями, подпорными стенками, анкерами.

ТБ вентиляции имеет важное значение, так как производство большинства вентиляционных сооружений часто связано с опасностью появления взрывоопасной концентрации метана, пыли или газов. Кроме того, работы по возведению вентиляционных сооружений, как правило, не механизированы, выполняются вручную, что снижает их безопасность.

Для предотвращения взрыва метана при тушении пожара способом изоляции очага противопожарные переемы возводятся дистанционно, как описано в п. 14.

Для того чтобы гасить возникшие взрывы метана, пыли или воздушные волны после массовой отбойки полезного ископаемого, также возводятся переемы. Они отличаются сложностью и требуют особого внимания при сооружении, так как возводятся при ликвидации аварии горноспасателями.

В паспортах возведения вентиляционных сооружений предусматриваются точные места их нахождения, более всего отвечающие ТБ. В месте возведения сооружений должны быть наготове материал сооружений и инструмент.

ТБ транспорта и подъема. В целом травматизм на указанных работах пока относительно большой (на транспорте около 10—15%, на подъеме около 5% от общего травматизма на производстве). Это объясняется не только тем, что транспорт связан с открытыми движущимися механизмами, но и стесненными условиями его работы в шахтах.

При рельсовом транспорте около 50% травм происходят из-за неисправности рельсовых путей, стрелочных переводов, захламленности и грязи в выработках; 25 — из-за неисправности составов; 10 — из-за отсутствия зазоров и неисправности выработок; 7 — из-за превышения скорости; 3 — из-за сцепки—расцепки на ходу; 2,5 — из-за езды на составе посторонних; 1,5 — из-за плохой освещенности и сигнализации; 1,5% — из-за отсутствия трапов и т. д.

Причинами травм на внутрикарьерном транспорте являются: железные дороги — 70%, автомашины — 27 и конвейеры — 3%. На железнодорожном транспорте большинство травм в карьере происходит вследствие наездов составов на людей; из-за сцепки—расцепки, несогласованности действий машиниста и сцепщика; столкновения поездов, схода составов с рельсов и др.

Для уменьшения количества травм следует разрабатывать оптимальные схемы транспорта, имеющие малую ступенчатость и минимальное число перегрузок, а также стремиться к полной конвейеризации транспорта и обеспечению доставки людей к рабочим местам.

При рельсовом транспорте необходимо устранять пучение пород, следить за балластом, наличием шпал, планок, болтов. Вода должна отходить в канавки, не заливая выработку. Для укрытия людей при движении транспорта устраиваются ниши, особенно в местах нахождения стрелочных переводов. У машин должны быть исправны прицепные устройства, тормоза, песочница, скоростомер, осветительное устройство, средства пожаротушения, аппаратура защиты двигателей, устройство для дистанционного управления стрелочным переводом, защиты от управления локомотивом вне кабины, нейтритализаторов выхлопных газов (на дизелевозах), крепление батарей (на аккумуляторных электровозах).

Сечение выработки при проходке должно иметь запас на осадку, который зависит также от системы разработки и колеблется в пределах 0,3—0,6 от вынимаемой мощности пласта.

На подъеме причинами травм являются: застревание со-

суда в стволе, обрыв каната или прицепных устройств, падение в ствол, удары предметами при осмотре стволов или при жесткой посадке клетки на посадочные кулаки и др.

ТБ на подъеме обеспечивается наблюдением за правильным положением сосудов и канатов в стволе, скоростью подъема, блокировок, предохранительных решеток на приемных площадках и в околоствольном дворе с подъемной машиной, исправностью рабочих и предохранительных тормозов. Для предотвращения напуска каната на застрявшую клеть, что может привести к резкому срыву сосуда и обрыву каната, рекомендуется специальная защита «Радуга», включающая аппаратуру контроля, связи и сигнализации с учетом поднимаемых грузов. Запас прочности канатов не должен быть менее 6,5. После спуска—подъема негабаритного груза канаты проверяются специальным прибором ИСКА.

В исправном состоянии должны быть парашюты, подвеска кабелей, а также подъемная машина, калориферы, копровые шкивы и т. д.

ТБ работ на поверхности охватывает дробильно-сортировочную и обоганительную фабрики, технологические комплексы шахт и карьеров.

На фабриках травмы происходят: при приемке и разгрузке сырья (17%), на сортировке и дроблении (6%), на погрузке и складировании продукта (33%), обоганительной машине (18%), складировании пустой породы и шлама, содержании хвостохранилищ (5%) и прочих (7%). По отдельным процессам: на внутрифабричном транспорте (28%), вращающиеся детали (22%), электрический ток (15%), падение людей с высоты (13%), засыпание людей в бункерах при очистке (9%), падение предметов на людей (7%), пожары и взрывы (3%) и прочие (17%).

Мерами ТБ, предотвращающими травматизм на обоганительной фабрике, являются: надежное ограждение работающих механизмов и проемов, согласованное производство ремонтов, строгое очерчивание опасных зон, надежная сигнализация (в том числе предупредительная на механизмах), хорошее освещение (особенно бункеров), исправность лестниц и содержание помещений в чистоте.

На поверхности шахт и карьеров травмы происходят по следующим причинам: при работе в технологических зданиях и сооружениях (30%), погрузке полезного ископаемого в бункеры (14%), сортировке и выборке породы (11%), складировании леса (10%), породы в отвалах (10%), хождении по железнодорожным путям (5%), работе на станках в механических мастерских (5%), складировании угля (3%) и прочих (12%).

Мерами ТБ, предотвращающими указанный травматизм,

являются: введение механизированного обмена вагонеток с помощью агрегатов КВП и толкателей ТКО 16—80; применение двусторонней сигнализации; перекрытие бункеров и ям решетками с ячейками размером не более 300×400 мм; запрещение работы электровозов во время грозы; применение комбинированного освещения (общего и местного); постоянный контроль за трещинами в земной коре с целью исключения прохода метана в надшахтные здания и сооружения.

В дополнение к санитарно-защитным нормам на поверхности (см. п. 11.1) на промплощадке должны быть обеспечены: подъезд автомашин к каждому зданию и водоемам; отвод атмосферных и талых вод с помощью открытых и закрытых водостоков; переходы—эстакады через конвейерные линии, рельсовые пути, монопорельсовые и канатные дороги; высота породных отвалов не более 100 м.

14. САМОВОЗГОРАНИЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО И РУДНИЧНЫЕ ПОЖАРЫ

Рудничные пожары приносят большой ущерб народному хозяйству, который складывается из потерь полезного ископаемого, затрат на тушение, последующее восстановление горных выработок и косвенных убытков (например, по освоению из-за пожара более сложных в горно-геологическом отношении участков).

Несмотря на трудности прогноза, количество рудничных пожаров в настоящее время падает. Этому в значительной мере способствуют различные мероприятия, проводимые на горных предприятиях по профилактике пожаров.

Особое место занимают способы тушения пожаров, применение которых зависит от конкретных условий, характера пожаров и мер по их ликвидации.

14.1. КЛАССИФИКАЦИЯ РУДНИЧНЫХ ПОЖАРОВ

Рудничный пожар — это пожар в горных выработках или на поверхности около них. Пожар на поверхности относится к рудничному в том случае, если его продукты могут попасть в шахту или карьер вместе с вентиляционной струей.

От правильно составленной классификации во многом зависит эффективность борьбы с рудничными пожарами (табл. 14.1). Следует отметить, что все пожары могут быть либо активными, либо пассивными, а также относиться к наружным и сконцентрированным или к глубинным и широко распространенным.

Таблица 14.1

№ п.п.	Классификационный признак	№ п.п.	Наименование пожара (объекта горения)	Состояние объекта
1	Пожар внешний (экзогенный)	1	Горение крепи	—
		2	Горение смазочных материалов	—
		3	Горение электрооборудования	—
		4	Горение зданий, сооружений и др.	—
2	Пожар внутренний (эндогенный)	1	Горение угля	Массив: разрыхленное и отбитое полезное ископаемое
		2	Горение серных и сернистых руд	

Эндогенные пожары от общего числа пожаров, например в угольных шахтах, составляют 55—60%. Однако экзогенные пожары являются более опасными из-за внезапности возникновения. Очаги внутренних пожаров, как правило, обнаруживаются заранее, что позволяет своевременно принять меры безопасности.

14.2. УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ

14.2.1. Экзогенные пожары

Основными причинами возникновения экзогенных пожаров являются: электрический ток (65—70% экзогенных пожаров от общего числа); взрывы газа и пыли (10—15%), взрывные работы, нагревание от трения движущихся частей механизмов, сварочные работы, открытый огонь от машин, курение и другие (15—25%).

Около 80% пожаров происходит в очистных и подготовительных выработках. Это объясняется большой концентрацией здесь горных работ. Далее по количеству пожаров (около 8%) идут околоствольные дворы и стволы. Эти выработки характеризуются наличием большого количества искроопас-

ного оборудования, пыли и различных струй воздуха (свежей и исходящей). Появление здесь очагов пожара может привести к опрокидыванию вентиляционных струй и опасной загазованности всей атмосферы шахты.

На поверхности горных предприятий экзогенные пожары возникают по причинам, общим для всех пожаров. Здания и сооружения на поверхности по опасности возникновения пожаров делятся на следующие категории.

Категория А — при работе с веществами, у которых температура вспышки менее 28°C . Сюда относятся: помещения для промыва деталей машин, отбойных молотков, зарядные аккумуляторные станции, склады и хранилища легковоспламеняющихся жидкостей и т. д.

Категория Б — при работе с жидкостями с температурой вспышки паров от 28 до 120°C . Это здания обогатительных фабрик; помещения сортировок дробильных установок, углебрикетные фабрики; сушильные отделения; закрытые помещения для конвейерных установок; склады баллонов с кислородом и т. д.

Категория В — работы с жидкими и твердыми сгораемыми веществами, имеющими температуру вспышки выше 120°C . Сюда входят: надшахтные здания главного и вспомогательного подъемов; пакгаузы смешанных грузов; угольные ямы; закрытые склады угля и др.

Категория Г — при работе со сжиганием твердого, жидкого и газообразного топлива (кузницы, котельные, литейные мастерские, газо- и электросварочные мастерские, помещения для двигателей внутреннего сгорания, электровозные депо и т. д.).

Категория Д — работы с несгораемыми веществами и материалами в холодном состоянии: относятся механические мастерские, склады металлических деталей машин и др.

14.2.2. Эндогенные пожары

Эндогенные пожары происходят в результате самовозгорания, т. е. самонагревания и развития в полезном ископаемом окислительных реакций. Самовозгорают уголь, сернистые руды и сланцы (углистые и глинистые).

Процесс самовозгорания — это естественное повышение температуры в результате развивающихся окислительных реакций, переходящих в возгорание при критической $t = 70\text{—}80^{\circ}\text{C}$. Образующиеся при этом химические соединения CO_2 , CO , N_2 и пары воды в зависимости от их концентрации определяют ту или иную стадию самовозгорания полезного ископаемого.

Из многочисленных теорий самовозгорания наибольший интерес представляет теория В. С. Веселовского, получившая развитие в ИГД имени А. А. Скочинского. По теории В. С. Веселовского самовозгорание есть результат четырех окислительных процессов: низкотемпературного, среднетемпературного, возгорания и горения (рис. 14.1).

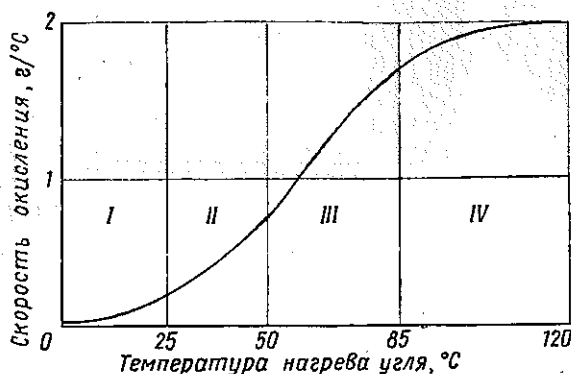


Рис. 14.1. Зависимость скорости окисления угля при самовозгорании от температуры

При низкотемпературном окислении (область I) $t=25^{\circ}\text{C}$ образуемое тепло быстро рассеивается. При среднетемпературном окислении (область II) в результате разрыва окислительного слоя происходит дальнейшее самонагревание. При возгорании (область III) увеличенное поглощение O_2 повышает перепад давления и приток воздуха. Увеличивается концентрация летучих веществ (CO и H_2), происходит быстрое самонагревание. При горении (область IV) концентрация летучих на поверхности достигает предела, появляется пламя. Окисление идет только за счет CO_2 и H_2O .

Полезные ископаемые имеют разную склонность к самовозгоранию, которая зависит от мощности пластов и залежей, трещиноватости, степени метаморфизма, глубины разработки и др. По методу ИГД им. А. А. Скочинского склонность к самовозгоранию характеризуется тем, что температура возгорания снижается при предварительном окислении угля. У углей, не склонных к самовозгоранию, она снижается не более чем на 8°C , у особо склонных — более чем на 25°C .

По методу МакНИИ, склонность к самовозгоранию определяется по площади газовой характеристики S и показателям выветривания F_x . Первая выводится графически, вторая экс-

периментально при искусственном выветривании. Все угли поделены на четыре группы: особо опасные (I), опасные (II), малоопасные (III) и неопасные (IV). Так, для углей марки К по S: I группа — более 14 ед.; II — 7,5—15; III — 4,5—7,5; IV — менее 2 ед.

Длительность созревания эндогенного пожара τ устанавливается на основе уравнения теплового баланса В. С. Веселовского, характеризующего нагревание полезного ископаемого, вынос тепла воздухом и отдачу тепла через теплопроводность.

Тогда

$$\tau = \frac{\gamma C \Delta T}{\theta U_n C_s \gamma - \rho' C_p B \frac{\Delta T}{y} - \lambda \nabla^2 T} \quad (14.1)$$

Обозначения к формуле (14.1) поясним на примере определения τ для пожара в выработанном пространстве при разработке мощного пологого пласта Карагандинского бассейна:

γ — объемный вес разрыхленного угля, $\gamma = 0,93$ т/м³;

C — теплоемкость угля, $C = 0,32$ кал/ч·град С;

ΔT — разность температур, $\Delta T = T_{кр} - T_{нач}$;

здесь $T_{кр}$ — критическая температура, $T_{кр} = 70^\circ$ С;

$T_{нач}$ — начальная температура угля, $T_{нач} = 15^\circ$ С;

θ — удельная теплота сорбции кислорода углем, $\theta = 3$ кал на 1 мл сорбированного O_2 ;

U_n — количество O_2 , поглощаемое 1 г угля в 1 ч при данной температуре t .

$$U_n = U_{n-1}(E \Delta T + t), \quad (14.2)$$

здесь U_{n-1} — известная сорбция O_2 углем при более низкой t , при 27° С $U_{n-1} = 0,0275$ мл/ч, при 55° С — 0,0776 мл/ч;

E — коэффициент, характеризующий увеличение скорости окисления при повышении t , $E = 0,048$ г/град С;

C_s — концентрация O_2 в исходящей из выработанного пространства струе воздуха, $C_s = 18,5\%$;

ρ' — плотность воздуха при $t = 20^\circ$ С, $\rho' = 1,199$ г/л;

C_p — теплоемкость воздуха при $t = 20^\circ$ С, $C_p = 0,24$ кал/мл·град;

B — скорость фильтрации воздуха в выработанном пространстве, м/мин,

$$B = \frac{U_y \gamma}{-1 \pi \frac{C_q}{C_0}}; \quad (14.3)$$

- y — путь, пройденный элементом потока, расстояние между соседними сбойками, $y=20$ м;
 C_0 — концентрация O_2 в поступающей струе воздуха, $C_0=20,5\%$;
 λ — коэффициент теплопроводности угля, $\lambda=0,1$ ккал/м·ч град С;
 $\nabla^2 T$ — оператор Лапласа, сумма вторых производных температуры по трем координатам.

Тогда

$$\tau = \frac{16,35}{0,091 - 0,0189 - 0,064} = 2018,5 \text{ ч.}$$

Таким образом, для указанного пласта длительность созревания пожара около трех месяцев. Установленная величина является также сроком, в течение которого должны быть проведены противопожарные профилактические мероприятия в выработанном пространстве.

14.3. ПРОФИЛАКТИКА РУДНИЧНЫХ ПОЖАРОВ

Профилактика рудничных пожаров — комплекс мероприятий по предупреждению пожаров и ограничению их возможных больших размеров. Этот комплекс мероприятий является достаточно емким и весьма важным в деле предотвращения пожаров и создания безопасных условий труда.

Профилактика пожаров входит в число основной деятельности предприятия, в работе которой участвуют все подразделения предприятия, а также ВГСЧ.

Мероприятия по профилактике пожаров делятся на горно-технические и противопожарные.

Горно-технические мероприятия направлены на исключение возможностей возникновения пожаров за счет правильного выбора параметров и способов разработки. К ним относятся: оптимизация скорости подвигания очистного забоя, строгое нормирование потерь угля, распределение месторождения на легкоизолированные участки, закладка выработанного пространства, изоляция целиков угля и заиливание выработанного пространства.

Минимальное количество оставляемого угля уменьшает его самовозгорание. Потери угля в выработанном пространстве необходимо тщательно изолировать.

Одним из самых эффективных средств изоляции выработанного пространства является заиливание, т. е. подача в него пульпы из воды, песка и глины с последующим отводом

воды и герметизацией твердыми частицами смеси всех путей прохода воздуха (рис. 14.2). При профилактическом заиливании очень важными являются порядок обработки выработанного пространства, состав и консистенция пульпы, режим заиливания и обезвоживания пульпы.

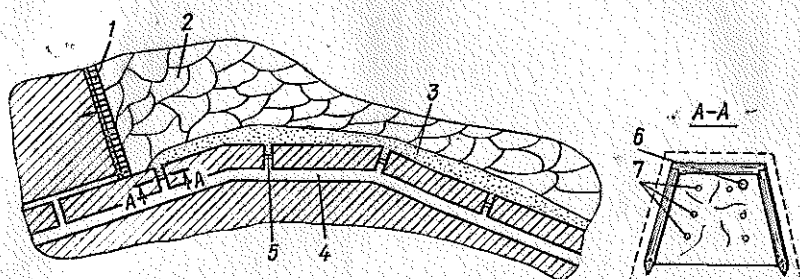


Рис. 14.2. Схема участка заиливания на угольной шахте:

1 — очистной забой; 2 — выработанное пространство; 3 — герметизирующая полоса; 4 — откаточный штрек; 5 — перемычка; 6 — пульпопровод; 7 — трубопроводы выходящей отстойной воды

Как правило, пульпа подается с вентиляционного горизонта. Однако при пологом падении она может подаваться и снизу. При небольшой глубине подачу ведут с поверхности. Заилочные трубы закладываются в перемычки, находящиеся в печах (рис. 14.2, б). Одна из труб предназначена для подачи пульпы, другие — для отвода воды. В состав пульпы входят глинистые (55%), песчаные (20%) и пылевые песчано-глинистые (25%) фракции. Соотношение между твердыми фракциями и жидкой частью: в теплое время — от 1:5 до 1:8; в зимнее время — 1:10.

Режим заиливания следующий: подача пульпы производится в течение одной—двух смен, а отстаивание твердой части — за одну смену. Отстой необходим не только для того, чтобы герметизировать трещины и различные воздушные проходы, но и для того, чтобы можно было подать новую порцию пульпы. При отстое ведется строгий учет количества выходящей воды во избежание ее скопления в выработанном пространстве.

Материал для заиливания должен легко отдавать воду, быстро оседать с минимальным выносом частиц и не содержать горючих примесей.

При оптимизации скорости подвигания забоя учитывается то, что температура очага эндогенного пожара возрастает до величины самовозгорания за определенный промежуток времени. Это позволяет при ускоренной выемке с помощью механи-

зированных комплексов избежать окислительных процессов и предотвратить самовозгорание.

Легкоизолируемые участки месторождения необходимы для быстрой установки между ними противопожарных дверей и локализации пожара, если он возник на одном из участков.

Закладка выработанного пространства, особенно полная, выполняет, как и заиливание, герметизирующие функции. Одновременно она поддерживает кровлю и поэтому в какой-то мере предотвращает раздавливание целиков угля и их самовозгорание.

Изоляция целиков производится для того, чтобы в появляющиеся трещины при их раздавливании не попадал воздух и не производил окисления угля. Существует целый ряд способов изоляции целиков:

оконтуривание и укрепление целиков органичной крепью;

огнестойкая футеровка стен из глины, шлака, цемента и извести;

нагнетание во внутрь целика цементного раствора, извести, хлористого кальция (т. е. веществ, не дающих хода реакции окисления — ингибиторов или замедляющих ее — антипирогенов);

гуммирование (покрытие смолистым веществом) в составе 60% латекса и 25% наирита; такое покрытие почти полностью прекращает просос воздуха.

В противопожарные мероприятия по профилактике рудничных пожаров входят противопожарное оснащение, пожарная сигнализация и соблюдение ПБ, исключающее возникновение экзогенных пожаров. На случай ликвидации очага предприятие постоянно осуществляет подготовку добровольных пожарных дружин (ДПД). Контроль за выполнением противопожарных мероприятий возложен на Госпожнадзор.

Пожарная сигнализация — комплекс технических средств для обнаружения загорания и оповещения о месте его возникновения.

Горные предприятия обеспечиваются звуковой, телефонной и электрической пожарной сигнализацией (ТПС и ЭПС). Так, например, искробезопасная громкоговорящая аппаратура связи (ИГАС) при аварии осуществляет подачу световых и акустических сигналов диспетчеру, а с поверхности — абоненту: о мерах безопасности, порядке выхода людей, прием сообщений и передача распоряжений в подземные выработки с записью их на магнитофонную ленту. Емкость аппаратуры — 20 номеров. Система связи симплексная.

О пожаре шахта может быть оповещена и с помощью ароматических веществ, выпускаемых в трубопровод сжатого воздуха или в протяженную горную выработку. При этом через 10—15 мин выделяющийся запах будет ощущаться по

всей шахте и тем самым предупреждать о произошедшем пожаре.

Соблюдение противопожарной безопасности предусматривает ряд мер, изложенных в соответствующих правилах безопасности и различных инструкциях.

Меры профилактики экзогенных пожаров касаются соблюдения правил хранения и обращения с ВВ, лесными материалами, горючесмазочными, легковоспламеняющимися жидкостями, ведения работ с электро- и газоаппаратурой, компрессорами и т. д.

На горных предприятиях кроме добровольных пожарных дружин пожарную охрану ведут объединенные пожарные отряды. Они формируются из команд пожарной, военизированной, вооруженно-вахтерной и сторожевой охраны. В функции объединенных отрядов входят: охрана предприятий, проведение пожарно-профилактической работы, тушение пожаров и контроль за состоянием пожарной безопасности на предприятиях. Пожарная команда обслуживает группу близкорасположенных предприятий, а также другие объекты и жилые поселки, находящиеся в радиусе ее выезда.

Добровольные пожарные дружины создаются из числа рабочих, ИТР и служащих горного предприятия в возрасте не моложе 18 лет. Основными задачами ДПД являются: оказание помощи пожарной охране в ведении профилактической работы, контроль за выполнением противопожарного режима на шахте, проведение разъяснительной работы в коллективе о необходимости соблюдения противопожарного режима; надзор за исправным состоянием средств пожаротушения, вызов пожарной команды и тушение пожара имеющимися средствами, обеспечение дежурств.

На предприятиях имеются лица, ответственные за пожарную безопасность на участке, в здании и т. д.

Государственный пожарный надзор осуществляется управлениями пожарной охраны МВД союзных республик и их местными органами (инспекциями) при исполкомах Советов народных депутатов.

Управления пожарной охраны и их местные органы осуществляют:

а) разработку и издание правил, инструкций и технических норм пожарной охраны;

б) контроль за выполнением противопожарных мероприятий;

в) координацию совместной работы пожарных организаций по использованию технических средств в борьбе с пожарами и стихийными бедствиями;

г) проверку выполнения проектирующими и строительными

ми организациями требований и нормативов противопожарной охраны;

д) оценку проектов по типам противопожарного оборудования;

е) контроль и проверку боеготовности пожарных организаций и средств пожаротушения на предприятиях.

Органы пожарного надзора имеют право:

а) обследовать состояние пожарной безопасности предприятия;

б) привлекать к ответственности виновных в невыполнении норм и правил пожарной безопасности;

в) запрещать эксплуатацию объектов, не обеспеченных пожарной безопасностью.

14.4. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ РУДНИЧНЫХ ПОЖАРОВ

Для эндо- и экзогенных пожаров отдельных методов не существует, так как ряд признаков их обнаружения является общим, например, увеличение CO , уменьшение O_2 и др.

Применяются следующие методы обнаружения пожаров: физиологический, химико-аналитический, по импульсу метана, физический, по аэрофотоснимкам, минералогический и статистический.

Физиологический метод является наиболее простым, однако не совсем точным. Он основан на установлении признаков возникновения пожаров органами чувств человека и делится на визуальные и воздействующие непосредственно на человека.

Визуально появление пожара можно установить по увеличению влажности воздуха (появление тумана и выпотов), повышению температуры рудничного воздуха и воды и появлению пожарных запахов (в угольных шахтах — запаха гари, керосина, бензина, а также смолы в результате сухой перегонки угля).

Предчувствие человеком появления пожара вызывается воздействием на организм CO и его постепенным угоранием. Признаками угорания являются: потение человека, появление угнетенного состояния, сонливость и слабость.

В Кузбассе, например, физиологическим методом было обнаружено 70% пожаров, в том числе визуально по дыму — 21,2%, огню — 5,1, повышению температуры воды — 3,8, запаху гари — 4,4, запаху бензина — 22,2, появлению тумана — 0,5, парению провалов — 2,1, угоранию рабочих — 11,6%.

Химико-аналитический метод. Производится анализ проб воздуха, взятых на участках. Основным газом, указывающим

на пожар, в пробе воздуха является CO . Если в пробах воздуха, взятых через каждые три часа в течение суток, постоянно содержится 0,01% CO по объему и больше, это означает, что на участке непременно начался рудничный пожар.

Из продуктов окисления CO обнаруживаются раньше других газов. Уже при температуре $+21^\circ\text{C}$ с помощью кондуктометрического и хроматографического методов анализа проб воздуха может быть обнаружено содержание CO в пределах 0,002%. Непосредственно в шахте CO и H_2 определяются с помощью хроматографического газоанализатора «эндотестер». Диапазон измерения — 0—0,005%; 0—0,1; 0—0,25; 0—0,5%; время анализа — 5 мин; вес прибора — 8 кг.

К химико-аналитическому методу относится также анализ пожарных коэффициентов R_1 и R_2 . Первый из них

$$R_1 = \frac{+\text{CO}_2}{-\text{O}_2} \cdot 100, \quad (14.4)$$

где $+\text{CO}_2$ — увеличение количества углекислого газа при пожаре;

— O_2 — величина, на которую в рудничном воздухе уменьшилось содержание кислорода.

Второй

$$R_2 = \frac{+\text{CO}}{-\text{O}_2} \cdot 100, \quad (14.5)$$

где $+\text{CO}$ — увеличение количества окиси углерода.

И, наконец, третий

$$R_3 = \frac{+\text{CO}}{+\text{CO}_2} \cdot 100. \quad (14.6)$$

Из приведенных уравнений видно, что пожарные коэффициенты представляют собой отношения между CO_2 , CO и O_2 . Это сделано для того, чтобы исключить при выявлении пожара колебания в количестве проходящего воздуха.

Таблица 14.2

Температура очага, град	Коэффициент		Физиологический признак
	R_1	R_2	
20	0,5	0	—
20—35	10—30	0	—
35—50	30—45	0,5	Выделение пара, потение стенок вы- работки
50—60	45—65	0,5—12	Сильный запах гари
80	65	12	Запах керосина

Значение пожарных коэффициентов для различных стадий самонагрева угля марки К и ОС приведены в табл. 14.2.

Существует еще один достоверный коэффициент Ω , представляющий собой отношение СО к этану. Это вызвано тем, что этан, как и окись углерода, может быть обнаружен среди окислительных газов уже на ранней стадии пожара. При температуре $+23^{\circ}\text{C}$ устанавливается его содержание в пробе в количестве 0,0004%.

Максимальное значение коэффициента Ω предшествует воспламенению. Для углей марки К указанное значение Ω равно 296, $K_2=165$, $CC=105$, $D=150$, $T=285$ и т. д. При скорости разогрева угля на ранней стадии пожара $6,1^{\circ}\text{C}$ в сутки (по данным МакНИИ) пожар по коэффициенту Ω можно обнаружить за 10—18 сут до появления максимальной температуры очага.

Прогнозирование пожаров по импульсу метана позволяет обнаружить пожар по резкому возрастанию (импульсу) газообильности на участке по сравнению с обычными днями. В основе метода лежит увеличение тяги воздуха к очагу пожара при окислении, что, в свою очередь, приводит к увеличению количества метана на участке. Наиболее достоверными показателями служат импульсы метана в воскресные дни, когда не ведутся очистные работы и нет дополнительного газовыделения из угля.

Физический метод включает в себя прогнозирование пожаров по температуре или электрическим потенциалам пород или рудничного воздуха, а также прогнозирование индикатором тепловых излучений «Квант». Результаты замеров наносят на план или вертикальный разрез с целью получения линий с одинаковыми температурами или потенциалами. Появление в линиях (изотермах, геоизотермах и т. д.) возмущений указывает на возможность наличия очага.

Минералогический метод. В основе его лежит появление при пожаре в шахтной воде новых минеральных образований, особенно при разработке сульфидных руд. При пожаре в указанных условиях могут появляться до 20 новых соединений. Химический состав воды, вытекающей из выработанного пространства на колчеданных рудниках, зависит от минералогического состава горных пород, а также от происходящих там химических процессов. При повышенной температуре вода отличается высокой окисленностью и повышенным содержанием серной кислоты и ряда металлов (Cu, Fe и др.). Увеличение серной кислоты (свободной или связанной) происходит в пределах от 0,05 до 30—50 г/л, железа — 0,09—33, меди — 0,02—8 г/л.

Аэрофотометод основан на выявлении очагов пожара по фотоснимкам, сделанным с самолета, в инфракрасном диапа-

зоне с длиной волны от 1,5 до 2 мм. Излучение объектов в данном диапазоне весьма дифференцировано.

Дешифрирование (раскрытие снимков) позволяет обнаруживать даже скрытые экзогенные пожары. О возможностях метода можно судить по дешифрированному снимку, на котором четко виден след от нахождения автомашины, которая покинула стоянку уже два часа назад.

Статистический метод заключается в обработке имеющихся фактических данных по пожарам с помощью уравнения множественной корреляции. Например, для шахт Донбасса, по последним данным, указанное уравнение имеет следующий вид:

$$y = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} - x_{15} - x_{16} + x_{17}, \quad (14.7)$$

где x_1 — химическая активность углей;

x_2 — угол падения;

x_3 — мощность пласта;

x_4 — глубина;

x_5 — утечки через выработанное пространство;

x_6 — подвигание забоя;

x_7 — депрессия участка;

x_8 — способ управления кровлей;

x_9 — характер вмещающих пород;

x_{10} — система разработки;

x_{11} — причины потерь угля в выработанном пространстве;

x_{12} — марки угля;

x_{13} — время возникновения пожара в течение года;

x_{14} — порядок отработки добычного участка;

x_{15} — схема проветривания участка;

x_{16} — схема проветривания шахты;

x_{17} — время возникновения пожара в течение месяца.

Пожар возможен при удовлетворении нормированного y . Исходная информация взята на основе 41 пожара в Донбассе.

Коэффициент множественной корреляции для выражения (14.7) $r=0,774$, существенность по критерию Фишера (F) $F_{расч} > F_{табл}$ ($2,23 > 2,02$), по критерию Стьюдента (t) при числе степеней 40 с вероятностью $p=0,95$ $t_{расч} > t_{табл}$ ($9,45 > 2,05$).

14.5. СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Все способы тушения рудничных пожаров делятся на четыре группы: 1) активные (с помощью воды, химических ве-

ществ, пены, заиловки и др.); 2) с разборкой очага; 3) с изоляцией очага; 4) комбинированный.

Активный способ — тушение пожара непосредственным воздействием на очаг водой, пеной, заилвкой с целью его подавления и прекращения реакции окисления.

Способ применяется главным образом при тушении экзогенных пожаров. Является одним из эффективных и по сравнению с другими характеризуется меньшими затратами на ликвидацию очага. При тушении удобно вести наблюдение за подавлением очага, а при ликвидации последствий требуется минимальный объем восстановительных работ.

Вода является одним из наиболее часто применяемых средств тушения экзогенных пожаров. К достоинствам ее относятся хороший напор (может сбивать пламя), эффективное охлаждение горячей поверхности (529 ккал при испарении 1 л воды), хорошая изоляция очага от доступа O_2 образующимся паром (1 л воды дает около 1700 л пара) и возможность тушения с дальнего расстояния направленной струей.

К недостаткам воды как средства пожаротушения относятся:

- непригодность для тушения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей из-за увеличения пожара при растекании горячей жидкости по поверхности воды;

- непригодность для тушения электроустановок, так как вода является хорошим проводником электричества;

- возможность диссоциации на H_2 и O_2 с образованием взрывчатой смеси; запрещается направлять тонкую струю воды на центр очага;

- ослабление и размокание пород при тушении, что может привести к потере устойчивости выработки и завалу.

Для повышения теплоемкости и образования защитных корок на поверхности в воду добавляют ингибиторы $NaHCO_3$, $NaCl$, Na_2CO_3 , $CaCl_2$, $Ca(OH)_2$ и др.

Одним из самых эффективных средств тушения пожаров является пена, так как она имеет низкую теплопроводность и небольшой удельный вес. Пена относительно быстро охлаждает горящую поверхность и надежно изолирует ее от доступа O_2 . Пена делится на химическую и воздушно-механическую, которая образуется с помощью пенообразователей. Характеристикой пены является ее кратность, т. е. отношение объема пены к объему жидкости пенообразователя. Кратность пены может быть от 800—1000 до 100 000 и более.

Другим показателем пены является ее стойкость, т. е. время, в течение которого созданная объемная масса не разрушается на воздухе. Стойкой считается пена, которая в момент образования разрушается только на 20%.

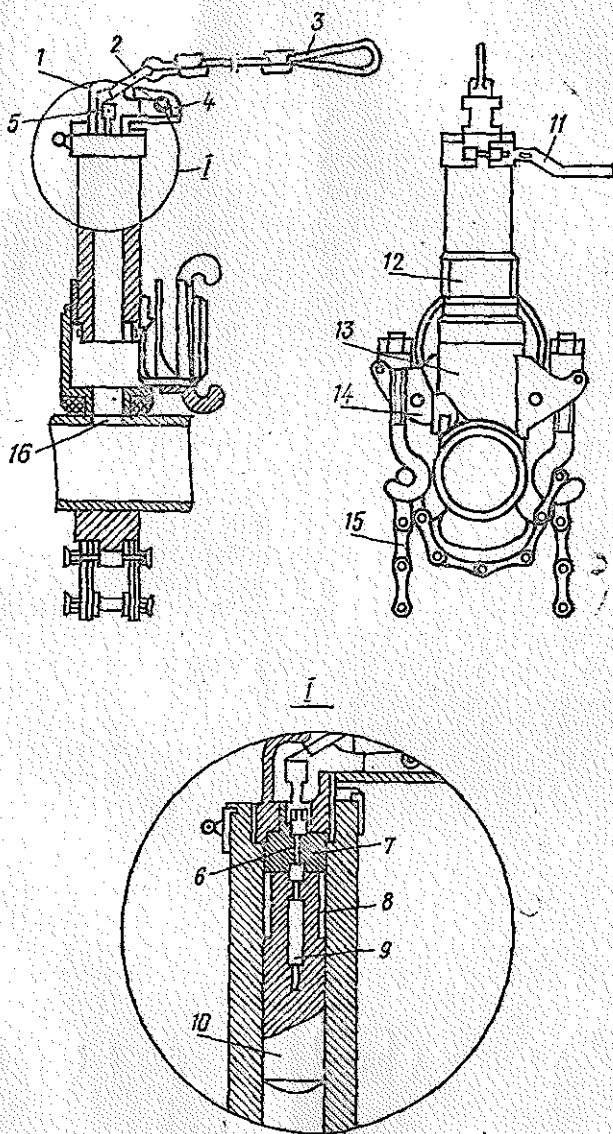


Рис. 14.3. Гидрант-пистолет портативный (ГПП).
 1 — казенник; 2 — кольцо; 3 — шпур; 4 — молоточек; 5 — боек;
 6 — напсюль; 7 — донце; 8 — гильза; 9 — стяжка; 10 — пробой-
 ник; 11 — ручка; 12 — ствол; 13 — корпус; 14 — хомут; 15 —
 цепь; 16 — пробитое отверстие

Пенообразователи бывают лоноактивные, нелонаактивные и протеиновые. Первые два сделаны на основе алкилсульфатов первичных спиртов, последние с добавками ПАВ (поверхностно-активных веществ) для повышения устойчивости пены и ее адсорбционной способности.

Химическая пена представляет собой эмульсию CO_2 в водном растворе минеральных солей совместно с пенообразователем, воздушно-механическая пена — эмульсию воздуха в водном растворе совместно с пенообразователем.

К химическим веществам, применяемым при тушении пожаров активным способом, относятся бромистый метилен, четыреххлористый углерод, углекислый газ и др. Они характеризуются выделением огнетушащих компонентов, активно тормозящих горение. При применении химических веществ значительно сокращается время тушения пожара. Во многих случаях они позволяют избежать взрыва метана.

К инертным к горению веществам относятся заилровка, песок, глина, земля, инертная пыль и другие материалы. Частицы инертных веществ недостаточно связаны друг с другом, но их применение характеризуется простотой и безопасностью. Они весьма эффективны при тушении легковоспламеняющихся жидкостей и электрооборудования.

Активные средства на очаг пожара подаются с помощью различных приспособлений: насосов, огнетушителей, пенообразователей и др.

Вода, как правило, подается на очаг с помощью брандспойта. Однако в ряде ситуаций шланг с насадкой должен быть подсоединен к противопожарному трубопроводу в месте, где нет крана. В этом случае применяют механическое сверло или гидрант-пистолет, позволяющие в любом месте врезаться в трубопровод и производить гашение с помощью воды (рис. 14.3).

Международное признание получил паровоздушный генератор ГИГ-4, созданный в СССР для тушения рудничных пожаров. Он состоит из топливного насоса, расходной емкости, газотурбинного двигателя, эжектора, испарителя-парообразователя, камеры дожигания, свечей, трубопровода охлаждающей воды, камеры охлаждения и выходного отверстия (рис. 14.4). При работе генератора соз-

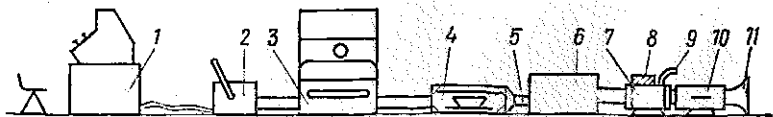


Рис. 14.4. Генератор инертных газов (ГИГ-4):

1 — пульт управления; 2 — топливный насос; 3 — расходная емкость; 4 — газотурбинный двигатель; 5 — эжектор; 6 — испаритель-парообразователь; 7 — камера дожигания; 8 — свечи; 9 — трубопровод охлаждающей воды; 10 — камера охлаждения; 11 — выходное отверстие

дается парогазовая смесь, сжигается O_2 до 1—2%, в запрещенное пространство подается инертный газ ($t=80-90^\circ C$).

Насосы для воды могут быть поршневыми, центробежными, струйными и ротационными. К поршневым насосам относятся насос-гидропулт «Костыль», а также двухцилиндровые насосы ПН-90, ПН-100, ПН-130, к центробежным насосам — марки Д-20, ПВ-10, ПН-1250, ПН-25А и др. Центробежные насосы устанавливаются на мотопомпах. Наиболее распространены мотопомпы М-300, М-600 и М-1200. Они оборудованы двухтактными одноцилиндровыми двигателями. Производительность этих мотопомп составляет от 700 до 1200 л/мин с напором до 0,8 МПа.

В начальной стадии пожара наиболее эффективным средством пожаротушения являются пенные химические огнетушители: щелочно-кислотные, углекислотные, бромэтиловые, порошкообразные и др. Пенные огнетушители делятся на ручные, стационарные и передвижные.

Огнетушитель ОХВПШ (огнетушитель химический, пенный, шахтный, рис. 14.5) состоит из стального оцинкованного внутри корпуса 1, в верхней части которого находятся: ручка 2, крышка 3, спрыск 4 и шток 5. При поднятии ручки на 180° шток выдавливает пробку 6 колбы 7, в котором помещается смесь серной кислоты с водным раствором серно-кислого алюминия $Al_2(SO_4)_3$. Оставшаяся (большая) часть объема огнетушителя 8 заполняется щелочью, состоящей из двууглекислой соды ($NaHCO_3$), с добавлением пенообразователя ПО-1А, растворенных в 8 л воды. При смешивании кислотной части со щелочной происходит реакция, при которой выделяемый углекислый газ скапливается внизу огнетушителя и создает у открытого спрыска давление 0,95—1,12 МПа. При действии кислоты на пенообразователь из щелочного раствора образуется пена, которая под давлением углекислого газа может выбрасываться через спрыск. К спрыску подсоединяется пеногенератор 9, находящийся в нижней части корпуса. Каплями раствора он эжектирует из окружающего пространства воздух, который выдувает пузырьки, обеспечивая образование пены высокой кратности. Производительность огнетушителя — 40—50 л пены, срок действия — 60 с, кратность пены — 50—60.

Огнетушитель ОТ-3 (огнетушитель тетрахлорный) заправляется 3 л четыреххлористого углерода и сжатым воздухом. Вытесняемый сжатым воздухом четыреххлористый углерод выбрасывается через спрыск в виде струи длиной 7—10 м. Струя при тушении пожара должна быть направлена в пламя. Сбивать его надо сверху вниз для того, чтобы пары углерода возможно дольше покрывали очаг пожара.

Огнетушитель ОП-2В (огнетушитель порошкообразный)

предназначен для усиления противопожарной защиты движущихся горных машин. При работе пусковой рычаг 1 прокалывает мембрану баллона 2, в результате чего сжатый воздух через вспушиватель 3 попадает в корпус 4, псевдоожижает порошок и создает рабочее давление (рис. 14.6). Рычагом можно регулировать подачу порошка с помощью клапана 5 и выброс его по сифонной трубке 6 с соплом на очаг пожара.

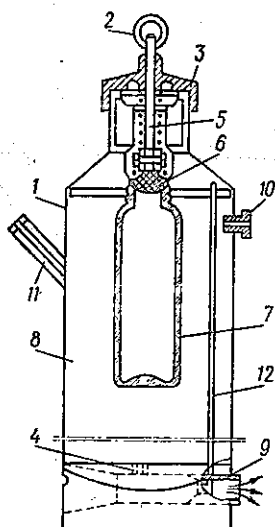


Рис. 14.5. Огнетушитель ОХВПШ:

1 — корпус; 2 — ручка запорного устройства; 3 — крышка; 4 — спрыск; 5 — шток; 6 — пробка; 7 — колба; 8 — внутренняя часть корпуса, заполняемая щелочным раствором; 9 — насадка; 10 — предохранитель; 11 — ручка переноски; 12 — трубка для поступления пенообразующего раствора к распылительной насадке

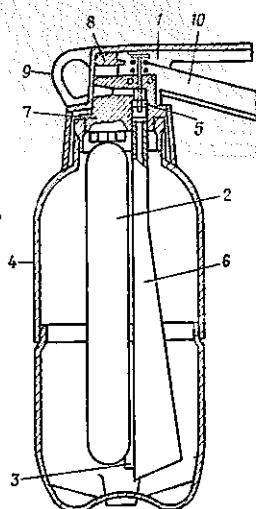


Рис. 14.6. Огнетушитель ОП-2В:

1 — пусковой рычаг; 2 — баллон со сжатым воздухом; 3 — вспушиватель; 4 — корпус; 5 — клапан; 6 — сифонная трубка; 7 — запорно-пусковая головка; 8 — пробойник; 9 — предохранительный колпак; 10 — ручка

Огнетушитель ВПС-250А (огнетушитель воздушно-пенный стационарный) состоит из цистерны емкостью 250 л и воздушного баллона емкостью 12 л (давление сжатого воздуха 11,8 МПа). В нижней части цистерны имеется выпускной клапан, к которому прикрепляется пожарный рукав с воздушно-пенным стволом. Огнетушитель заряжается на 96% водой и 4% пенообразователем. С помощью редуктора в цистерне создается давление 0,54 МПа. Сжатый воздух по соединительной

трубке поступает в цистерну и перемешивает пенообразователь с водой, образуя воздушно-пенную смесь. При открытии клапана последняя выбрасывается через пожарный рукав на очаг пожара.

Пеногенератор — аппарат непрерывного образования химической пены — представляет собой струйный насос-эжектор с бункером для пенообразующего порошка. Вода в пеногенератор подается из водопровода или от насоса. Пенообразующий порошок засасывается эжектором через загрузочную воронку и, смешиваясь с водой, образует щелочной и кислотный растворы, вступающие в реакцию между собой. Пеногенераторы бывают передвижные (ПГ-50) и стационарные (ПГ-100). Пеногенератор устанавливается в 40—80 м от очага пожара.

В последние десятилетия в связи с появлением новых химических материалов и химикатов значительно осложнилось тушение пожаров на поверхности шахт и карьеров. Из 700 000 промышленных химикатов 10 000 являются опасными. При горении синтетических материалов выделяются, главным образом, отравляющие пары цианистого и хлористого водорода. Температура горения этих материалов может достигать 1000° С и более. Трудности представляет выявление горящего материала и решение о применяемом химическом веществе для его тушения. Теплозащитные скафандры после использования должны обрабатываться специальными растворами, а обрабатывающая жидкость подвергаться захоронению.

В качестве химического вещества для тушения указанных пожаров могут применяться галогенированные углеводороды (жидкий и газообразный галоны), которые по воздействию следует отнести к ингибиторам.

Тушение пожара с разборкой очага является одним из эффективных, особенно при тушении экзогенных пожаров. После разборки очага полость закладывается инертным материалом. При наличии CH_4 этот способ может быть допустим при быстрой разборке и незначительном нагреве угля.

Тушение пожара изоляцией применяется в исключительных случаях, так как связано с большими затратами по восстановлению участка и опасностью взрыва метана при герметизации. Однако он является одним из самых эффективных при тушении экзогенных пожаров.

Изоляции может быть подвергнут отдельный участок или шахта в целом. Для изоляции отдельных участков применяются перемычки; шахта в целом может быть затоплена.

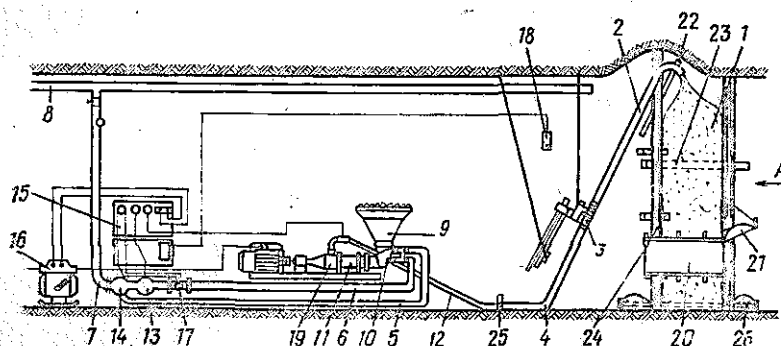
По конструкции перемычки бывают временные, долговременные и воздухонепроницаемые. При пожаре применяются первые два вида. Они изготавливаются из щитов, плит, камня и других материалов и могут быть со врубом или без вруба.

Перемычки устанавливаются на входящей и исходящей струях участка.

Большую сложность представляет собой возведение перемычки в газовых шахтах, так как здесь существует опасность появления взрывоопасной смеси в заперемыченном пространстве в момент окончания ее возведения, когда в указанном пространстве резко уменьшается содержание кислорода.

Для того чтобы избежать образования взрывной смеси, перемычки в газовых шахтах делают с помощью специальных механизмов или дистанционно, особенно в момент окончания возведения.

Для возведения гипсовой безврубовой перемычки служит агрегат «Пневмолит». При сечении выработки 4—6 м² толщина возводимой им перемычки равна 0,8 м, при сечении выработки 6—12 м² — 1 м и при сечении выработки 12—20 м² — 1,2 м (рис. 14.7).



Вид А

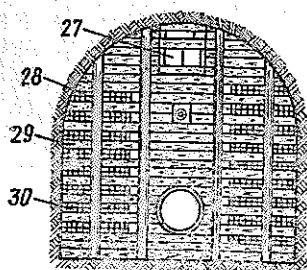


Рис. 14.7. Агрегат «Пневмолит» для безопасного возведения перемычек в газовых шахтах:

1 — возводимая перемычка; 2 — выпускной патрубок; 3 — переключатель потока; 4—8 — рукава; 9 — бункер; 10 — смесительная камера; 11 — рабочая часть смесительно-нагнетательной установки; 12 — напорный латрубок; 13 — фильтр; 14 — трехходовик; 15 — пульт управления; 16 — пускатель; 17 — расходомер; 18 — аппарат связи; 19 — смесительно-нагнетательная установка; 20 — проемная труба; 21 — глушитель; 22, 24 — контрольные трубы; 23 — труба для отбора проб воздуха; 25 — предохранительный клапан; 26 — труба для отвода воды; 27 — лаз; 28 — стойка; 29 — доска; 30 — мешковина

К комбинированным способам тушения пожаров относятся соединения изоляционного и активного способов; изоляционного и выравнивания давления и т. д. В основе последнего ле-

жит стремление значительно уменьшить просос воздуха в заперемыченное пространство, который почти всегда имеется, несмотря на тщательность возведения перемычек.

При тушении рудничного пожара изоляцией и выравниванием давления поступают следующим образом. При пожаре на участке, согласно рис. 14.8, первоначально возводят две

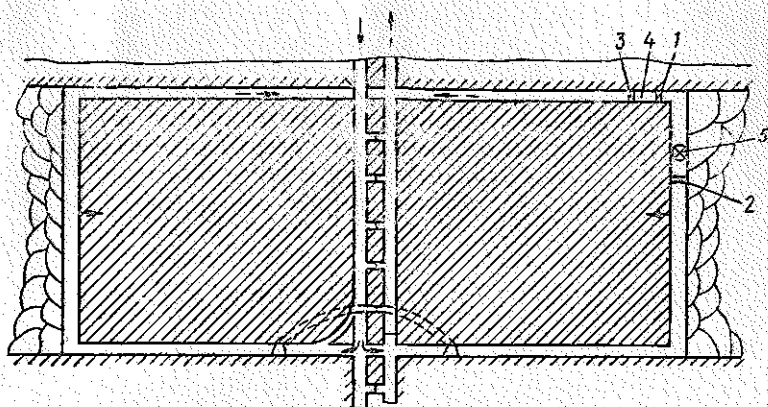


Рис. 14.8. Общая схема шахты с указанием пожарного участка в очистном забое:

1, 2 — противопожарные перемычки на входящей и исходящей струях; 3 — третья перемычка; 4 — шлюз для выравнивания давления воздуха; 5 — очаг пожара

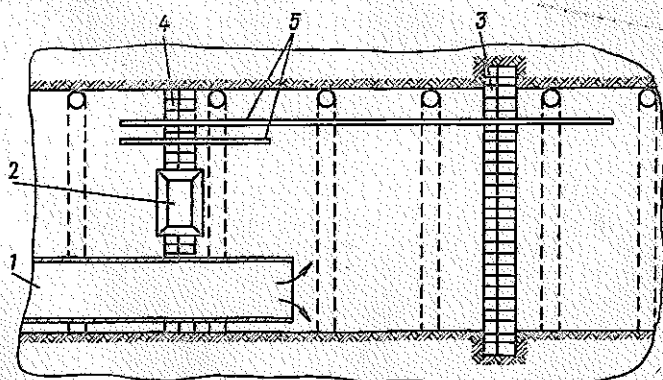


Рис. 14.9. Схема установки оборудования при тушении подземного пожара методом выравнивания давления:

1 — вентиляционная труба нагнетательного вентилятора; 2 — вентиляционное окно третьей перемычки; 3 — перемычка на исходящей струе пожарного участка; 4 — третья шлюзовая перемычка; 5 — трубопроводы депрессиометров

перемычки 1 и 2. На исходящей стороне у перемычки 1 устанавливают третью перемычку 3. В пространство 4 между перемычками 1 и 3 нагнетают воздух до получения $\Delta P=0$ из уравнения

$$P_1 = P_2 + \Delta P,$$

где P_1 и P_2 — соответственно, давление воздуха на пожарном участке и между перемычками 1 и 3;
 ΔP — разница между указанными давлениями, если есть просос воздуха через заперемыченный пожарный участок.

Подаваемое в зашлюзованное пространство (рис. 14.9) дополнительное количество воздуха по трубопроводу 1 увеличивает давление, которое можно регулировать с помощью окна 2.

С помощью этого способа, как показала практика, очаг пожара ликвидируется в значительно более короткие сроки.

14.6. ПРИЗНАКИ ЛИКВИДАЦИИ РУДНИЧНОГО ПОЖАРА

Признаки ликвидации пожара и последующее вскрытие пожарного участка являются весьма важными, особенно на шахтах, опасных по газу, так как возможны рецидивы и образования взрывных смесей.

К признакам, по которым судят о том, что рудничный пожар прекратился, относятся:

а) следы или полное отсутствие в пробах рудничного воздуха содержания СО;

б) низкое содержание в указанных пробах кислорода, а именно: 12% O_2 указывает на отсутствие пламени в пожаре; 5% O_2 — на отсутствие тления дерева, масла и т. д.; 2% O_2 — на полное затухание при эндогенных пожарах;

в) соответствие температуры пород на пожарном участке температуре, характерной для данных пород в обычных условиях на данной глубине.

Обследование и вскрытие пожарного участка производится усиленными нарядами ВГСЧ с детальной предварительной разведкой. Подход к участку ведется обязательно со шлюзованием выработок.

15. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ ШАХТ ПРИ АВАРИЯХ

Вентиляционные режимы — это маневры с воздушными струями в выработках, необходимые для вывода людей, за-

медления распространения аварий, предотвращения образования взрывчатой смеси в воздухе, повышения температуры воздуха, самопроизвольного опрокидывания струй и т. д.

Применяются следующие режимы:

- а) сохранение направления струи;
- б) сохранение направления струи с уменьшением количества воздуха;
- в) сохранение направления струи с увеличением количества воздуха;
- г) реверсирование струи;
- д) реверсирование струи с уменьшением количества воздуха;
- е) реверсирование струи с увеличением количества воздуха;
- ж) закорачивание струй;
- з) практическое прекращение движения воздуха (нулевая вентиляция).

Выполнение вентиляционных режимов при пожарах осложняется появлением в вертикальных и наклонных выработках тепловой депрессии [20 а с. 249—251].

Рассмотрим вентиляционные режимы на примере аварий типа пожар. Вентиляционные режимы при пожарах в шахте зависят от местонахождения выработки, газообильности, действия естественной тяги и тепловой депрессии. При пожаре в подающем стволе, околоствольном дворе, квершлагах и штреке основным режимом является реверсирование вентиляционной струи, что связано главным образом с предотвращением движения пожарных газов к очистным забоям, где находится основное количество людей. Соответственно для пожаров в выработках с исходящей струей основным режимом является сохранение направления струи.

Конкретно при всасывающей системе проветривания режимы проветривания используются следующим образом.

Пожар в надшахтном здании подающего ствола, стволе или околоствольном дворе. В газовых шахтах при фланговой схеме проветривания во всех случаях должно производиться реверсирование струи. В негазовых шахтах и при центральном проветривании возможно применение других режимов.

При естественной тяге, совпадающей с направлением движения вентиляционной струи $+h_e$, возможно применение закорачивания струи между центрально-расположенными стволами. Цель закорачивания — отвести пожарные газы от других выработок шахты.

При $-h_e$ в негазовых шахтах следует применять нулевую вентиляцию, т. е. отключать вентиляторы. Подпор пожарных газов будет создаваться естественной тягой. Этому может способствовать тепловая депрессия h_t . Однако при пожаре в око-

лоствольном дворе и большой величине h_t теплый воздух при отключении вентиляторов может устремиться к устью вентиляционного ствола и опрокинуть подпираемую струю в подающем стволе. В этом случае целесообразно реверсировать струю и уменьшить количество воздуха, учитывая для подпора действие естественной тяги.

Люди из шахты при указанных пожарах выходят через вентиляционные стволы.

Пожар в квершлаг и откаточном штреке. В газовых шахтах при пожаре на небольшом расстоянии от околоствольного двора должно быть произведено реверсирование и в зависимости от распространения пожарных газов изменено количество воздуха. При пожаре, происшедшем близко к очистному забоя, направление струи в начальный период должно быть сохранено с тем условием, чтобы люди вышли из шахты через подающий ствол. Затем струя реверсируется.

В негазовых шахтах при центральном проветривании возможно в первый момент закорачивание струи и отвод пожарных газов от очистного забоя, а затем реверсирование.

С целью локализации пожара необходимо уменьшить количество воздуха перед очагом с помощью паруса, перемычки и т. д. В газовых шахтах последнее мероприятие исключается, так как оно может привести к образованию взрывной концентрации газов в воздухе.

Пожар в бремсберге или уклоне. Чтобы не было опрокидывания струи из-за h_t в ходке, выработке, параллельной пожарному бремсбергу, до очага должно быть сделано дополнительное сопротивление или произведено регулирование количества воздуха с помощью дверей, установленных в устье выработок. Депрессия может быть увеличена за счет повышения подачи воздуха. При ожидаемом опрокидывании струи в пожарном уклоне возможно закорачивание струй на ходок с целью уменьшения тепловой депрессии.

При пожаре в уклоне (с углом не более 20°) возможно регулирование количества воздуха с помощью окна в параллельной выработке.

Люди выходят на поверхность через подающий ствол.

Пожар в очистном забое, вентиляционных выработках и надшахтном здании вентиляционного ствола. Направление струи сохраняется. При возможности образования в очистных забоях взрывчатой смеси увеличивается количество воздуха. Во всех других случаях количество воздуха уменьшается с целью сокращения доступа кислорода к очагу. В большем количестве уменьшение воздуха возможно при $+h_c$ (и h_t в вентиляционном стволе) и в меньшем при $-h_c$.

В негазовых шахтах при $+h_c$ и h_t вентиляторы могут быть отключены.

Люди, находящиеся до очага пожара в указанных выработках, выходят на поверхность через подающий ствол, а находящиеся за очагом выходят в самоспасателях через вентиляционный ствол, если нет выработок, ведущих к подающему стволу.

При установлении вентиляционного режима для аварий, связанных со взрывами газа и пыли, учитывается возможность повторных взрывов метана, резкое увеличение после взрыва содержания CO (до 2—3%) и уменьшение O_2 (до 7% и менее).

При взрыве газа и пыли должна быть быстро восстановлена вентиляция. Направление струи сохраняется. Количество воздуха, подаваемое на аварийный участок, должно быть увеличено, особенно на шахтах с большим газовыделением.

16. ГОРНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПРИ АВАРИЯХ

16.1. ОПИСАНИЕ АВАРИЙ И ИХ НЕКОТОРЫХ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ

Рудничная авария — это внезапное нарушение нормального состояния выработок, механизмов и состава рудничной атмосферы, создающее угрозу для жизни людей, занятых на горной работе, и приносящее экономический ущерб предприятию. Одним из основных признаков рудничной аварии является применение при их ликвидации специальных мер и работ в респираторах.

В горно-спасательные работы, следовательно, входят не только действия по спасению людей, но и значительные усилия по устранению последствий аварий. В этом плане очень важным является знание предупредительных признаков, которые могут помочь не только предотвратить аварию, но и быстрее ее ликвидировать.

К основным рудничным авариям можно отнести следующие:

- взрывы газа и пыли;
- внезапные выбросы и суффляжные выделения;
- длительное загазирование;
- обрушения и завалы;
- пожары;

прорывы вод и заиловки;

обрывы клетей и скипов, застревание их в стволах.

Из приведенного перечня аварий видно, что к последним относят и длительное загазирование, хотя оно может происходить и не внезапно. Однако по всем другим признакам и по угрозе жизни людей — это одна из наиболее опасных рудничных аварий.

О предупредительных признаках взрывов газа и пыли уже было сказано в ряде пунктов настоящей работы (1.3, 1.4 и 12).

Решающим в предотвращении этой аварии является контроль за содержанием метана в рудничном воздухе. В настоящее время при наличии эффективных автоматических датчиков основной задачей является их правильное размещение и наблюдение за функционированием. Большую опасность для жизни людей представляет самовольное изменение пределов срабатывания датчиков, которое иногда допускается работниками с целью избежания автоматического отключения добычного оборудования.

Предупредительные признаки внезапных выбросов приведены в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Группа признаков	Признак	Проявление признака, служащее предупреждением
Первичные или природные	Морфологический	Тектонический раздвиг, пережим, флексура, изменение элементов залегания пласта
	Структурный	Образование линзовидности, землисто-зернистых и зернистых структур пласта
	Текстурный	Образование интенсивно-складчатой или слабоскладчатой текстуры пласта
	Гидрогеологический	Сухость пласта
Вторичные	Усиленное горное давление	Прогиб и полом крепи
	Звуковой	Шум, шипение, свист, треск, удары
Вторичные	Усиленное горное давление	Прогиб и полом крепи
	Явление на поверхности забоя	Шелушение, осыпание угля, отскакивание кусочков угля
Смешанные	Тепловой	Охлаждение забоя
	Механический	Понижение крепости угля и устойчивости угольного массива
	Газовый	Появление газоносности и давления газа, усиленное газовыделение

Приведенные признаки свидетельствуют об изменении газосодержания X пласта, т. е. о повышении газообильности и опасности взрыва метана, который, в свою очередь, может имитировать внезапный выброс.

Для предварительного распознавания внезапного выброса используются начальная газоотдача и критерий опасности

$$P_b = P_{\max} - 19f^2, \quad (16.1)$$

где $P_{\max}$ — давление газа в скважине;
 f — коэффициент крепости угля.

При $P_b > 0$ возможны внезапные выбросы при вскрытии пласта.

Признаками длительного загазирования могут служить непосредственно постепенное наращивание содержания метана, а также изменение газоносности пласта, снижение коэффициента дегазации и др.

Предупредительными признаками обрушений и завалов являются опускание и выдавливание пород, внезапные деформации крепи и звуковые явления, связанные с началом расслоения пород.

Признаками, которые устанавливаются приборами, могут быть частота внутреннего потрескивания и скорость прохождения сейсмических волн.

Признаками прорыва воды и заиловки является все, что представляет увеличение влажности на рабочих местах. Это и потение забоя, и усиление капежа, и, наконец, появление воды или заиловки в количествах, превышающих обычные. Прорыв также может ожидаться при расслоении, и особенно при трещинообразовании в породах.

Обрывам клетей могут предшествовать признаки, больше относящиеся к эргономике: отсутствие необходимых проверок исправности оборудования, недостаточная прочность канатов, невысокая квалификация обслуживающего персонала, нарушение ими личной гигиены и др.

16.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Организация горно-спасательных работ — важное государственное и общественное дело. Она строится так, чтобы обращалось одинаковое внимание как на профилактические мероприятия по предотвращению аварий, так и на спасение людей и ликвидацию уже произошедших аварий.

Строгая система работ предусматривает в масштабе страны организацию ВГСЧ (военизированных горно-спасательных

частей), в масштабах предприятия составление плана ликвидации аварий, включение в работу общественности и др.

Создание ВГСЧ предусматривает наличие такой организации, которая сощмещала бы в себе выполнение сложных горно-спасательных работ на основе строгой военной дисциплины. ВГСЧ СССР не только успешно ведут горно-спасательные работы в своей стране, но и помогают их ликвидировать в других странах (например, в Польше, Югославии, Индии). Международная помощь в ликвидации рудничных аварий предусматривается и сотрудничеством стран—участниц СЭВ.

Задачи ВГСЧ делятся на боевые (спасение людей, ликвидация аварий), профилактические (по предупреждению пожаров, изолированию участков, разгазированию, вскрытию изолированных участков, участию в составлении планов ликвидации аварий и т. д.) и технические (отбор и анализ проб, тарировка приборов и др.). (Структуру ВГСЧ в СССР см. на рис. 16.1)

ВНИИГД (Всесоюзный научно-исследовательский институт горно-спасательного дела) находится в Донецке. ЦГС (центральная горно-спасательная станция) имеется практически в каждом бассейне; она способствует улучшению профилактической работы и оперативно-технической деятельности ВГСО (военизированный горно-спасательный отряд). На период аварии на предприятии создается для ВГСЧ отдельный командный пункт (КП) для быстрого выяснения обстановки и оперативного руководства спасательными работами. Военизированные горно-спасательные взводы обслуживают группу предприятий в радиусе 12—15 км. Приблизительно на 10 взводах имеется один отряд. Во взвод входят 3—6 отделений по 5—7 чел. (респираторщиков).

Оборудование ЦГС, ВГСО и ВГСВ имеет много общего, особенно в части обеспечения службы респираторщиков: содержание респираторов, специальных автомашин, учебных шахт, газоаналитических лабораторий и т. д.

Служба респираторщиков (бойцов ВГСЧ) организуется следующим образом. Каждый взвод имеет три смены отделений: дежурное, резервное и свободное. Каждая смена длится 24 ч. В занятиях участвуют: теория, тактико-техническая подготовка, физическая и боевая подготовка, тренировка в респираторах и т. д. После занятий резервное отделение остается на территории взвода. Тренировка в дымном штреке в условиях высокой насыщенности СО проводится 1 раз в месяц.

В целом структура ВГСЧ показывает, что горно-спасательному делу в СССР уделяется большое внимание. Имеются НИИ, ряд заводов и специальная школа. Кадры командиров ВГСЧ черпает из числа выпускников горных институтов, ко-

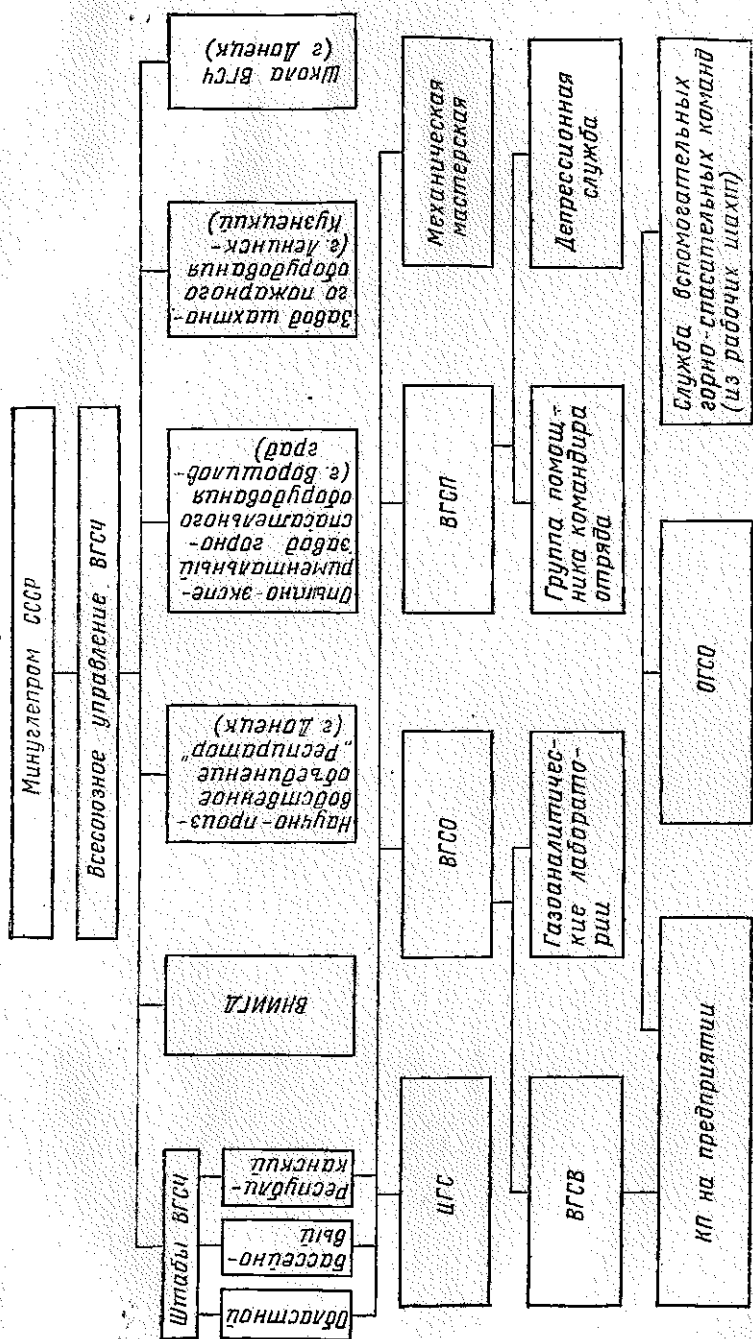


Рис. 16.1. Структура ВГСЧ в СССР

торые после работы на шахтах (2—3 года) могут поступить в школу ВГСЧ. Постоянно совершенствуются респираторы. В настоящее время ВГСЧ переходят на респираторы Р-30.

Серьезная работа в ВГСЧ проводится по совершенствованию газоаналитических лабораторий, которые оснащаются приборами (газоанализаторы «Понск», «Сигма»), имеющие хроматографический уклон, что позволяет детально исследовать поступающие пробы воздуха.

План ликвидации аварий (ПЛА) — основной документ, которым обязаны руководствоваться и по которому должны действовать рабочие и ИТР шахты с момента аварии. Основная идея ПЛА — избежать паники людей во время аварии. Цель ПЛА — приобретение рабочими и ИТР твердых навыков и уяснение своих действий на случай любой аварии.

Содержание ПЛА должно отвечать трем основным задачам: 1) действия лиц по спасению людей, застигнутых аварией; 2) вывод людей с места аварии; 3) ликвидация аварии в начальной стадии.

Документы ПЛА составляются на полгода, пополняются ежемесячно с участием ВТБ шахты и ВГСЧ. Вентиляционные поправки должны вноситься в ПЛА не позднее суток.

В ПЛА в обязательном порядке входят два основных документа: оперативная часть и диспозиция, а также приложение к ним. Оперативная часть — описание действий лиц в соответствии с типом аварий; диспозиция — размещение конкретных должностных лиц и их обязанности (письменный приказ). Приложения — схемы вентиляции, электроснабжения, водо- и воздухообеспечения, планы околоствольных дворов, поверхности; списки лиц и учреждений, телефонов, складов и т. д. Приложения ПЛА варьируются в зависимости от особенностей бассейнов.

Оперативная часть составляется по форме (табл. 16.2).

К содержанию отдельных граф предъявляются следующие требования:

а) позицией называется каждое возможное место аварии, причем ряд выработок с одним режимом проветривания может иметь один номер;

б) пожарная команда, машина ВГСЧ вызывается при обнаружении очагов пожара в надшахтных зданиях и сооружениях;

в) вентиляционные режимы и используемые для этого вентиляционные устройства.

г) предусматривается полностью вывод людей из шахты при взрывах газа и пыли, внезапных выбросах и при наличии на шахте только двух выходов; в остальных случаях люди выводятся только с угрожаемых участков.

«Утверждаю»

Главный инженер ПО

Форма оперативной части

Позиция: номер выработки, наименование места,

тип аварии _____

Мероприятия по спасению людей и ликвидации аварии	Лица, ответственные за выполнение, и исполнители	Пути и время выхода людей	Пути движения отделений ВГСЧ и задание	То же, что и графа 4
Вызвать ВГСЧ	Отв. исп. — дежурный Исп. диспетчер или телефонистка	Люди с участка № _____ работающие за местом аварии выхода в самоспасателях, по _____ ствола Продолжительность движения (40 мин)	1-е отделение по стволу № _____ до гор. _____ м и следует по вентиляционному штреку пл. _____ для вывода людей с участка № _____ Людей вывести по _____	То же, что и гр. 4 Отрывается и отдается руководителю горно-спасательных работ со стороны ВГСЧ После ликвидации графа восстанавливается
Западный и восточный вентиляторы реверсировать; центральный — нормально Оповестить участки об аварии	Отв. исп. — дежурный Исп. — диспетчер Отв. исп. — дежурный Исп. — диспетчер		Последующие отделения приступают к работе по указанию ответственного исполнителя работ	
Вывести людей с участков №№ _____	Отв. исп. — дежурный Исп. — надзор участков			
Ликвидировать аварию подручными средствами	Отв. исп. — надзор участков Исп. — рабочие участков			

Мероприятия по спасению людей и ликвидации аварии	Лица, ответственные за выполнение и исполнители	Пути и время выхода людей	Пути движения отделений ВГСЧ и задания	То же, что и графа 4
Выключить электроэнергию на участке №	Отв. исп. — руководитель работ Исп. — дежурный электроподстанции			
Обеспечить нормальную работу вентиляторов	Отв. исп. — руководитель работ Исп. — диспетчер			

Главный инженер

Согласовано: командир ВГСЧ

Диспозиция главного инженера шахты: находится на главном командном пункте (чаще всего в кабинете главного инженера); является главным руководителем работ по спасению людей и ликвидации аварии; при необходимости вносит изменения в оперативную часть; поручает одному из инженерно-технических работников вести оперативный журнал (дата, час и минута, содержание задания по ликвидации аварии и срок исполнения, ответственный за выполнение задания, отметка об исполнении задания с указанием числа, часа и минуты); назначает инженерно-технических работников на посты: к телефону в околоствольном дворе и надшахтном здании, к стволу на поверхности для проверки пропусков у спускающихся в шахту. При разногласии с командиром ВГСЧ слово главного инженера является решающим.

Директор шахты находится на командном пункте, является помощником главного руководителя работ по организации и снабжению, организует медпомощь пострадавшим и питание ВГСЧ, руководит работой транспорта на поверхности.

Горный диспетчер руководит ликвидацией аварии до приезда главного инженера; затем поступает в распоряжение главного руководителя работ.

Командир ВГСЧ находится на командном пункте ВГСЧ, несет ответственность за горно-спасательные работы, действует согласно плану (способ спасения людей, распределение респираторщиков, ответственных за отдельные мероприятия, обеспечение воздухом, медпомощью и питанием пострадавших); для связи оставляет помощника на главном командном пункте.

Начальник участка ВТБ немедленно сообщает руководителю работ о своем местонахождении, приступает на рабочем месте к наблюдениям за нормальной работой вентиляторов, производит работы по выполнению вентиляционного режима, обеспечивает работу ламповой.

Начальник производственного участка немедленно сообщает руководителю работ о своем местонахождении, приступает на рабочем месте к руководству выводом людей из аварийного участка, оставив одного из помощников у руководителя работ для связи, производит с помощью назначенных лиц ликвидацию аварии.

Основные приложения к ПЛА. *Схема вентиляции* представляет собой план горных работ с обозначением всех позиций по авариям. Составляется в соответствии с условными обозначениями, рекомендованными ПБ (главный вентилятор, ствол, свежая и исходящая струи, двери, окна, краны, телефоны и т. д.). К схеме прилагаются акты проверки и исправности реверсивных устройств, воздухораспределения, состояния запасных выходов из рабочих мест.

Схема электро-, водо- и воздухоснабжения имеет две разновидности: магистрали на поверхности и в шахте. К схемам прилагаются акты исправности трубопроводов, оборудования и т. д.

План ликвидации аварий после составления должен находиться в кабинете главного инженера, в диспетчерской и у командира ВГСЧ.

План околоствольного двора составляется с нанесением мельчайших деталей, возможных изменений в расположении дверей, указанием материалов, хранящихся в камерах, и т. д.

Особенности в составлении ПЛА по бассейнам. *Донбасс:* в ходу имеются все вентиляционные режимы, на шахтах действует естественная тяга воздуха, движение отделений ВГСЧ предусматривается детально только в первоначальный момент. *Кузбасс:* каждая позиция в ПЛА содержит небольшое количество выработок, организуется тщательное наблюдение за стволами при аварии. *Карагандинский бассейн:* схема вентиляции имеет подробности в части нумерации позиций, мест наибольшего скопления людей. *Урал:* прилагается расчет тепловой депрессии, при авариях увеличивается количество перемычек, в ликвидации участвуют все отделения ВГСЧ независимо от вида аварии.

Важное место в уменьшении последствий аварий отведено самоспасению людей в рамках ПЛА с помощью самоспасателей и укрытий. Применяемые в горной промышленности самоспасатели делятся на два типа: фильтрующие и изолирующие. Первые используются для выхода из зараженной атмосферы при содержании O_2 не менее 17% и защиты

дыхательных путей от CO , пыли и дыма, самоспасатель СПП-2. Изолирующие самоспасатели предназначены для выхода и работы в атмосфере с содержанием O_2 менее 17% и полной изоляции дыхательных путей от вредных примесей. К ним относятся самоспасатели ШСС-1 и ШС-7М с регенеративным патроном и СК-6 с кислородным баллоном [21].

Самоспасатель СПП-2 состоит из следующих частей: корпуса, включающего нижнюю 1 и верхнюю (крышку) 2 части (рис. 16.2). Нижняя часть как патрон содержит все необходимые химические вещества для нормальной работы самоспасателя, верхняя — необходима для содержания (при нерабочем состоянии СПП-2) остальных деталей самоспасателя.

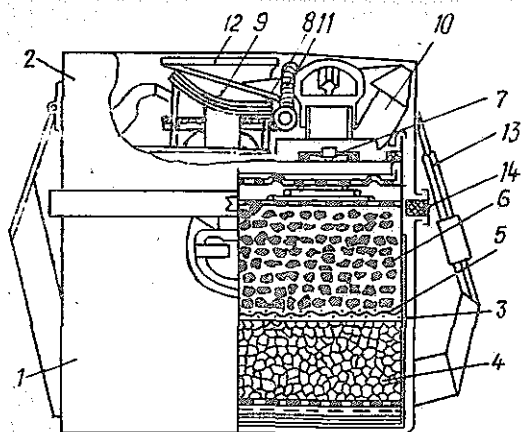


Рис. 16.2. Самоспасатель СПП-2:

- 1 — нижняя часть корпуса; 2 — верхняя часть корпуса (крышка); 3 — форфильтр; 4 — селкагель; 5 — вата; 6 — гопкалит; 7 — клапан вдоха; 8 — клапан выдоха; 9 — упор; 10 — оголовье; 11 — носовой зажим; 12 — очки; 13 — плечевой ремень; 14 — резиновый амортизатор

В состав СПП-2 входят (по направлению движения воздуха) следующие химические вещества и материалы: форфильтр 3 (для собирания твердых частей дыма), представляющий собой гидрофобизированный чехол, в котором находится патрон; селкагель 4 (осушитель воздуха от влаги, CaCl_2), дополнительный фильтр 5 (вата) и гопкалит 6 (смесь MnO_2 — 60% и CuO — 40%).

Эта смесь освобождает входящий воздух от CO , превращая его в CO_2 по реакции



Очищенный воздух с помощью клапана вдоха 7 попадает в легкие, с помощью клапана выдоха 8 выходит из легких в атмосферу.

Срок действия самоспасателя — 60 мин, масса — 1,05 кг.

Самоспасатель ШС-7М применяется на шахтах, опасных по внезапным выбросам угля и сульфурным выделениям. В замкнутом цикле движение воздуха при выдохе имеет направление вниз по химватрону 1, а при вдохе вверх через тот же патрон, в котором находится перекись щелочных металлов, поглощающих CO_2 и выделяющих O_2 (рис. 16.3). Для улучшения дыхания самоспасатель снабжен дыхательным мешком 2, в котором выдыхаемый воздух собирается после выдоха, пройдя через патрон и кольцевой паз 3 около нижней части корпуса 4. При вдохе воздух дополнительно обогащается, пройдя тем же путем в обратном направлении, и по гофрированному шлангу 5 через загубник 6 попадает в легкие. Такая система дыхания называется маятниковой.

Для обеспечения дополнительным количеством кислорода в момент включения в самоспасатель в приборе имеется автоматическое пусковое устройство 7. Порция H_2SO_4 выливается на перекись щелочных металлов, в результате чего за несколько секунд выделяется около 5 л кислорода.

Срок действия ШС-7М по защите дыхательных путей при выходе из аварийного участка равен 50 мин (при нахождении в спокойном состоянии в укрытии — 300 мин). Масса аппарата около 3 кг.

В горной промышленности применяется и малогабаритный самоспасатель ШСМ-2, имеющий небольшой вес (около 1,5 кг), однако срок его службы небольшой (25 мин при выходе из аварийного участка), поэтому он применяется для связи забоя с местом дополнительного хранения самоспасателя.

Самоспасатели СК мало отличаются от респираторов, находящихся на вооружении в ВГСЧ. Они применяются в качестве дополнительных дыхательных аппаратов бойцами ВГСЧ или на шахтах со сложными условиями при выходе людей из аварийного участка.

Самоспасатели находятся в индивидуальном и групповом (на весьма тонких пластах) пользовании, но не далее 50 м от места работ.

Укрытия, специальные убежища располагаются в местах согласно ПЛА. Они должны быть герметичны, общая площадь рассчитывается, исходя из площади на 1 чел., равной 0,8—1 м². Убежище снабжается сжатым воздухом, резервными самоспасателями, медикаментами и др. Заготовительного материала должно хватить на две перемены.

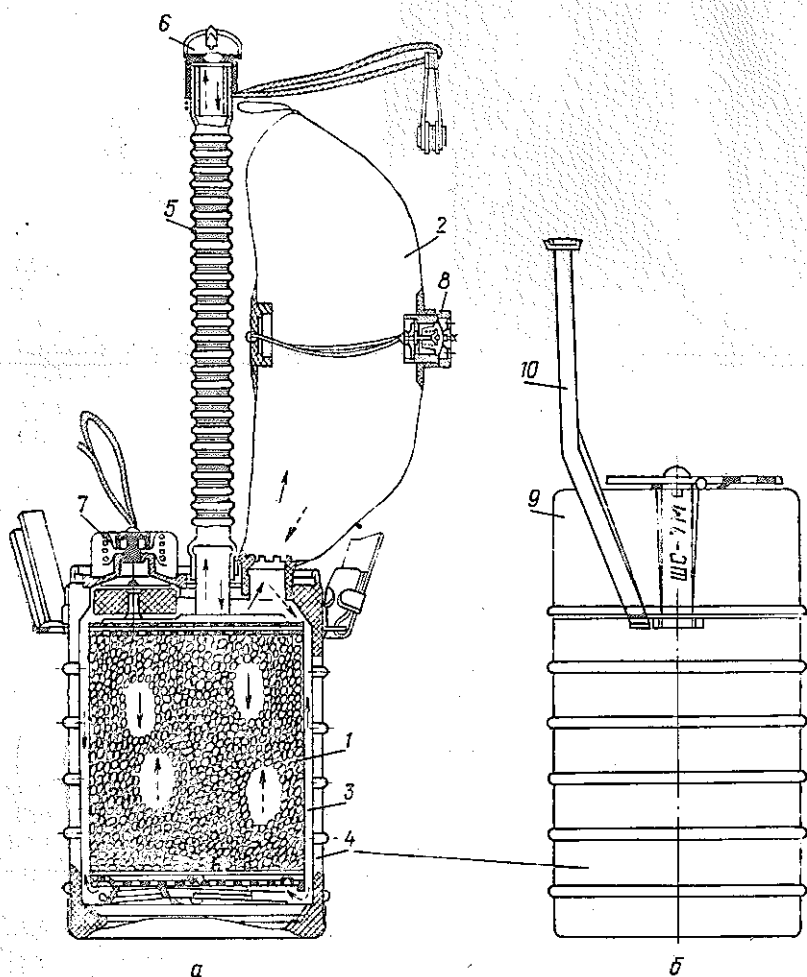


Рис. 16.3. Самоспасатель ШС-7М:

а — продольный разрез самоспасателя: 1 — химический патрон; 2 — дыхательный мешок; 3 — кольцевой паз; 4 — нижняя часть корпуса; 5 — гофрированный шланг; 6 — загубник; 7 — пусковое устройство; 8 — избыточный клапан; *б* — общий вид прибора; 9 — верхняя часть корпуса (крышка); 10 — плечевой ремень

Находясь в укрытии, необходимо быстро сделать пере-
мычку, чтобы газ не пошел в тупик: выключить имеющийся
вентилятор и разрушить трубопровод, лечь на почву для
уменьшения потребления кислорода и подавать по рельсу
сигналы о бедствии.

16.3. ОСНАЩЕНИЕ И ТАКТИКА ДЕЙСТВИЙ ВГСЧ ПРИ СПАСЕНИИ ЛЮДЕЙ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ

16.3.1. Оснащение ВГСЧ

Оснащение ВГСЧ делится на основное и вспомогательное. К первой группе относятся средства работы и защиты бойца, а также средства для оказания первой помощи пострадавшему: респиратор, минимальное снаряжение бойца, газотеплозащитный аппарат, водолазный прибор и аппарат искусственного дыхания. Вторая группа включает средства, необходимые для создания условий по спасению людей и ликвидации аварии в начальной стадии: средства связи, вентиляционное оборудование, приспособления для высвобождения пострадавшего

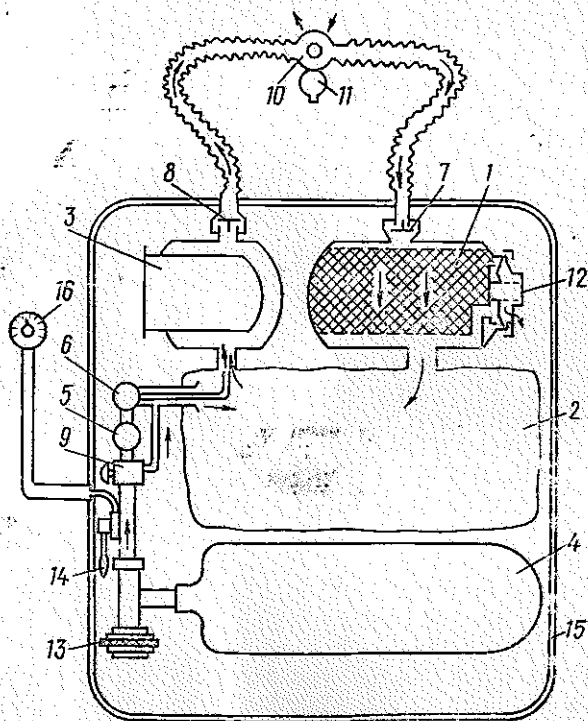


Рис. 16.4. Респиратор Р-30:

- 1 — регенеративный патрон; 2 — дыхательный мешок;
- 3 — холодильник; 4 — кислородный баллон; 5 — редуктор;
- 6 — легочный автомат; 7 — клапан выдоха; 8 — клапан вдоха;
- 9 — аварийный клапан (байпас); 10 — соединительная муфта к лицевой части; 11 — влагоудаляющий насос;
- 12 — избыточный клапан; 13 — запорный вентиль;
- 14 — перекрывной кран манометра; 15 — днище ранца;
- 16 — манометр-флюидметр

го из-под породы и переноски его, средства пожаротушения и транспорта оборудования и респираторщиков.

Существует ряд конструкций респираторов, применяемых при авариях в шахтах: Р-12М, Р-30 и Урал-1М (СССР), ВГ-174 (ФРГ) и др. Современные респираторы надежно изолируют дыхание от зараженной атмосферы во время аварии, обеспечивают поступление воздуха в легкие с достаточным количеством кислорода и при нормальной температуре.

В респираторе Р-30 выдыхаемый воздух проходит через регенеративный патрон 1, где поглощается CO_2 , затем через мешок 2 и холодильник 3 вновь попадает в легкие при вдохе (рис. 16.4). В мешок в ритме дыхания порциями поступает кислород из баллона 4. Регулирование его подачи производит редуктор 5 и легочный автомат 6 типа пневмореле, в котором находятся два клапана — основной (пружинный) и вспомогательный (мембранный). При разрежении $2,7 \pm 0,27$ кПа основной клапан подает в мешок кислород — 60—150 л/мин. В холодильнике для работы используется брикет льда, с максимальным охлаждающим эффектом 8°C . Вместо водяного льда может вставляться сухой углекислотный лед, увеличивающий эффективный срок действия холодильника до 2—2,5 ч.

К минимальному снаряжению респираторщика относятся: респиратор, самоспасатель, аккумуляторная лампа, сигнальный свисток, сумка с нашатырным спиртом, индивидуальный медицинский пакет, складной нож, шпатель и карандаш (с бумагой), — необходимые не только для самого бойца, но и в некоторых случаях для пострадавшего.

Для работы при высокой температуре предназначены теплозащитная куртка (ТК-40) и полуавтономный газотеплозащитный костюм (ГТК). Он состоит из четырех основных частей: холодильного водяного комбинезона 1, респиратора 2, теплозащитного комбинезона 3 и холодильного агрегата 4 (рис. 16.5).

Водяной комбинезон (нижний) представляет собой тонкий трикотаж с вплетенными в него сетью эластичных трубок, по которым циркулирует холодная вода, поступающая из агрегата. Сеть трубок объединена коллектором 5. На водяной комбинезон горноспасатель одевает респиратор РВЛ-1 с двухчасовым сроком действия со специальным шлемом-маской ММ-1 6. Поверх этого одевается теплозащитный комбинезон, включающий теплозащитную обувь 7 и рукавицы 8. Холодильный агрегат в ГТК выносной, с комбинезоном соединен двойным шлангом 9 длиной 4 м. В него входит насос 10 и лед 11, охлаждающий циркулирующую воду. Кроме этого в ГТК имеются лампа 12 с аккумулятором 13 и средство связи с катуш-

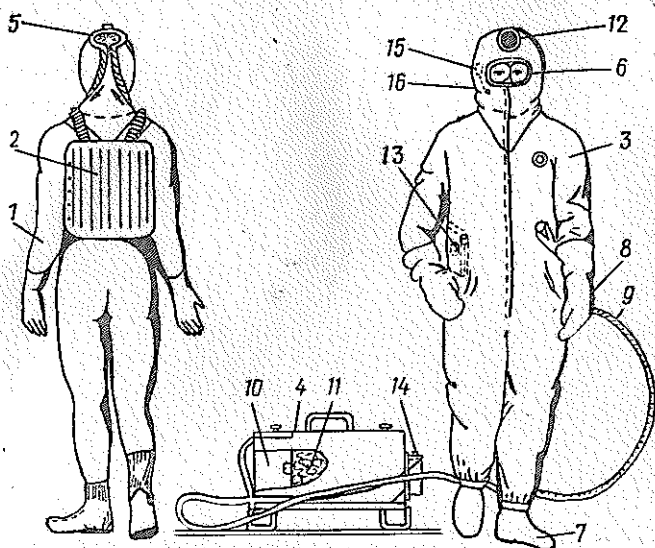


Рис. 16.5. Газотеплозащитный костюм (ГТК)

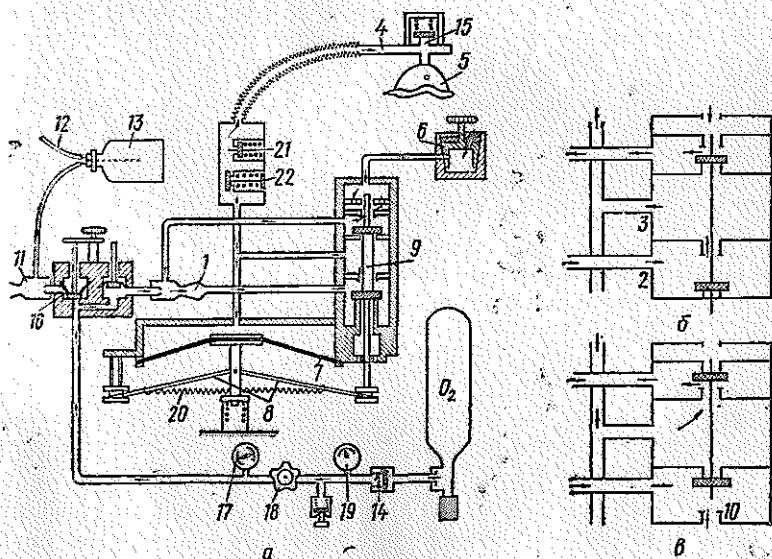


Рис. 16.6. Схема аппарата искусственного дыхания «Горноспасатель-8М»: а — конструктивное расположение элементов; б — схема расположения клапанов распределительного устройства при вдохе; в — схема расположения клапанов распределительного устройства при выдохе

кой 14 (длина провода 200 м), телефоном 15 и микрофоном 16.

Для связи используется беспроводный аппарат «Огонек», обеспечивающий симплексный телефонный контакт между отделением ВГСЧ на базе и отделением на ликвидации аварии типа рудничный пожар.

ГТК предназначен для работы в следующих условиях: при температуре 60° С в течение 90 мин, 100° С — 60 мин и 140° С — 45 мин. Масса снаряжения, одеваемого на спасателя, — 22,5 кг, контейнера — 12 кг, хладагента — 13 кг, катушки связи — 2 кг.

Аппарат искусственного дыхания «Горноспасатель-8М» (рис. 16.6) производит искусственно вдох и выдох, используя инжектор 1. Кислород при вдохе проходит в легкие через седло 2 из распределительного устройства 3, трубку 4 и маску 5, предварительно смешиваясь с воздухом, подсасываемым инжектором из крана 6. Давление в системе растет, и при 1,5 кПа мембрана 7 переключающего механизма идет вниз и с помощью рычагов 8 переводит шток 9 распределительного устройства в новое положение. При этом проход к крану 6 закрывается, а седло 10 открывается, и подсос воздуха идет непосредственно из легких с выбросом его через седло. При достижении в системе разрежения в 0,7 кПа начинается новый цикл вдоха. Аппарат производит также очистку дыхательных путей с помощью эжектора 11 и трубки-катетера 12. Этому способствует большое разрежение эжектора, равное 53,3 кПа.

К обычной связи между отделениями и базой относится аппаратура горно-спасательной связи «Шахтофон». Она обеспечивает прямую симплексную двустороннюю громкоговорящую связь и одностороннюю кодовую сигнализацию тональными сигналами по двухпроводной линии.

Дополнительно для связи может быть использован простейший прибор — геофон, работающий на принципе восприятия слухом человека ударов — искусственных, которые наносит пострадавший по массиву пород, трубопроводу, рельсу и т. д., и естественных, являющихся результатом периодического растрескивания угля.

Геофон состоит из слухового штуцера 1, составляющего одно целое с верхней крышкой 2, свинцового груза 3, мембраны 4, боковой стенки 5, основания 6 (рис. 16.7). Прикладывая основание к массиву, можно слышать удары. Если по геофону установлено 70—80 потрескиваний в 1 мин, то можно ожидать в ближайшее время внезапного выброса угля и газа и, следовательно, необходимо выводить из забоя людей.

Данные геофона приведены в табл. 16.3.

В качестве вентиляционного оборудования применяются

рудничные вентиляторы небольшой производительности и давления.

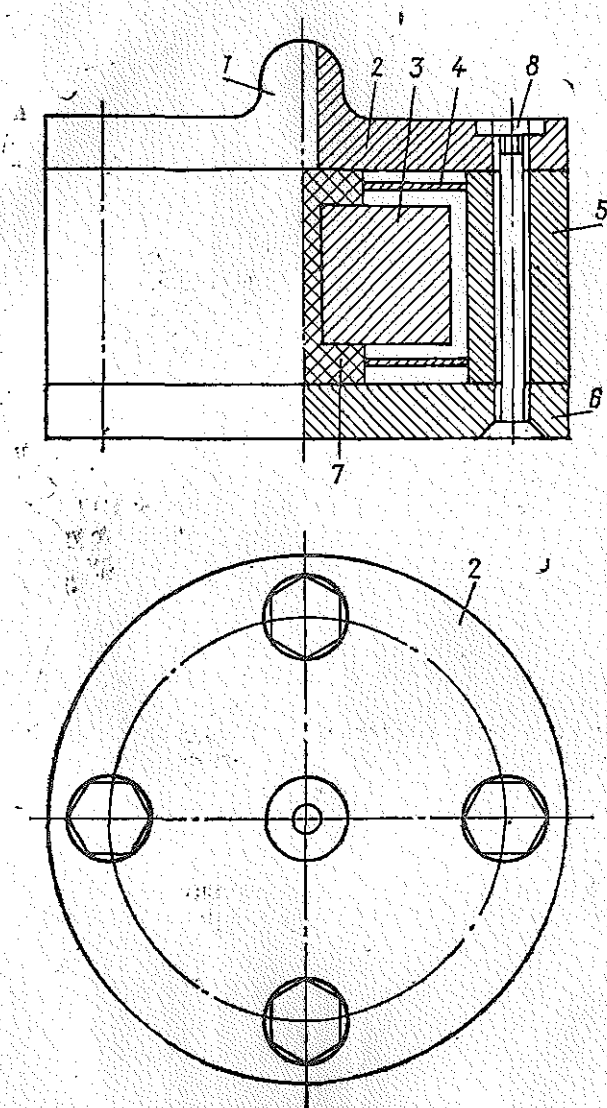


Рис. 16.7. Геофон:

1 — слуховой штуцер; 2 — крышка; 3 — груз; 4 — мембрана; 5 — боковая стенка; 6 — основание; 7 — сердечник; 8 — стяжной болт

Таблица 16.3

Воздействие на среду	Среда	Воспринимаемое расстояние, м	Частота ударов (потрескиваний), в 1 мин
Тяжелый удар молотком, сильно	Порода	900	—
	Уголь	600	—
	Накосы и рыхлые породы	120—170	—
Несильный удар	Трубопровод	450	—
Голосом	Толща угля	45	—
Естественное изменение, потрескивание	Массивы пород	500—1000	70—80

На вооружении имеются переносные перемычки: надувные, парусные, сборные и др. Приборы для определения состава рудничного воздуха; средства пожаротушения (насосы, огнетушители, воздушно-пенные образователи); приспособления для подъема и переноски людей (подъемные воротки, домкраты, складные носилки).

В оснащение центральной подземной базы ВГСЧ в период ликвидации аварии входят: запасные баллоны с кислородом, резервные патроны с химвсасителем (по числу респираторщиков), запас аккумуляторных ламп (25% от числа участвующих в спасении людей и ликвидации аварии), аппараты искусственного дыхания (несколько экземпляров, сумка с медикаментами), бак с кипяченой водой, дезинфицирующий раствор (для ополаскивания мундштуков дыхательных аппаратов), носилки, теплая одежда (для предохранения от простуды при отдыхе после тяжелой работы), огнетушители, насосы и другое оборудование.

16.3.2. Основные тактические положения ВГСЧ при спасении людей, ликвидации аварий и их последствий

Как правило, работам предшествует разведка, на которую направляется одно из отделений ВГСЧ. Другое отделение находится в резерве на свежей струе. В задачи разведки входит спасение людей, выяснение обстановки, причин аварии и выявление мест для базирования отделений при последующей работе. Разведке и ликвидации аварий способствует создание в шахте центральной базы, размещение которой зависит от места происшедшей аварии.

При авариях, связанных с внезапными выбросами, взрывами газа и пыли, работы ведут сразу по всему участку, пол-

ностью изолируют (шлюзуют) участок, так как возможны повторные взрывы газа при поступлении свежего воздуха. Необходимо организовать быструю уборку выброшенного измельченного угля с целью уменьшения опасности его самовозгорания и взрыва атмосферы. Разборку завалов ведут по верхней кромке с целью удаления большого количества газа из выработок. При сильном распространении выброса по лаве и невозможности быстрой выдачи угля предусматривают проходку спасательных печей и других выработок со всеми мерами предосторожности против новых взрывов и выбросов. Высылаются возможно большее число отделений с дополнительным количеством изолирующих самоспасателей.

Некоторые дополнения в тактику вносятся при аварии, связанной с суфлярными выделениями метана. Так, большинство отделений ВГСЧ направляется в выработки с исходящими струями с большим содержанием CH_4 и малым содержанием O_2 . Метан отводится в общешахтную струю или по скважинам на поверхность.

При длительном загазировании производится тщательная разведка участка. Меры по разгазированию принимаются под непосредственным наблюдением ВГСЧ. Определение содержания CH_4 после разгазирования производится около каждого механизма и в радиусе 20 м во всех прилегающих выработках.

При обрушениях и завалах необходимо в первую очередь провести закрепление обрушенного пространства во избежание повторных завалов, загазирования и взрывов газа; устанавливают связь с пострадавшими, обеспечивают их воздухом, медикаментами, водой и питанием. Разборку завала ведут с разных сторон для уменьшения общего времени работ. При этом применяют опережающую крепь.

При экзогенных пожарах отделения ВГСЧ посылают одновременно на свежую и исходящую струи. При наличии CH_4 менее 5% тушат очаг, одновременно усиливая вентиляцию, при содержании CH_4 более 15% тушат загоревшийся метан, уменьшая проветривание, чтобы не создавать взрывные смеси. В наклонных выработках к очагу подходят по струе воздуха. При развивавшихся пожарах участок разбивается на районы, который тушат постоянно одни и те же отделения ВГСЧ и их командиры. Тактические положения для ВГСЧ при тушении эндогенных пожаров особенностей не имеют. Тушение их проводится главным образом силами работников шахты.

При прорывах вод и занловки отделения ВГСЧ направляются со стороны вентиляционного горизонта, иногда при уплотненной массе во все возможные спуски и проходы. Быстро восстанавливают вентиляцию. При подходе к людям по горизонтальным выработкам (не полностью закрытым пуль-

пой) работы целесообразно вести выше верхняков по мягкому углю. При больших прорывах перед важными объектами возводят водоупорные перемычки; насосы, которым грозит затопление, демонтируют.

При обрывах клетки и скипов, особенно при застревании сосудов с людьми, быстро возводят под клетью полук. Успливают подачу теплого воздуха и принимают меры по ликвидации капежа. Подъем людей из застрявшей клетки при отсутствии лестничного отделения производят с помощью бады.

16.4. ПРИМЕРЫ ИЗ ПРАКТИКИ ГОРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Примеры по спасению людей и ликвидации аварий подобраны таким образом, чтобы их анализ принес большую пользу будущим руководителям горных работ, научил их строго соблюдать различные инструкции и ПБ, особенно по предотвращению наиболее опасных аварий, связанных с пожарами, взрывами и внезапными выбросами метана. Однако поучителен и ряд других аварий.

Авария типа прорыва в шахту поверхностных вод на шахте «Дукла» (Чехословакия) (1976). Разрабатывался пласт лигнита мощностью 5 м с углом падения 2—4°. Глубина разработки — 16—18 м. Окружающие породы — песок.

Поверхность шахты холмистая, с долиной, приблизительно в средней части шахтного поля. В этой части в виде излучины находится русло реки, очень мелкой, обычно пересыхающей. Пласт вскрыт штольной и вертикальным стволом. Подготовка панельная, система разработки сплошная, с обрушением пород.

Прорыв воды, образовавшейся в результате нахлынувшего ливня с высотой потока 1 м, произошел со стороны долины, находящейся над выработанным пространством и имевшей поэтому провалы. Было затоплено большинство выработок шахты. Имелись нулевые несчастные случаи.

Причины аварии: недостаток на шахте насосов и труб. Выработки шахты были пройдены не по проекту, отсутствовал сток воды к устью штольни.

Авария типа прорыва в действующие выработки вод, накопившихся на верхних горизонтах, на шахте Часналле (Индия) (1980). Мощность разрабатываемого пласта — 30 м, угол падения — 55°.

Пласт вскрыт вертикальным стволом и этажными кверш-

лагами. Был отработан только верхний этаж высотой 90 м с применением камерно-столбовой системы разработки. Впоследствии выработки были затоплены. Было много нулевых несчастных случаев из-за полного затопления шахты. В ликвидации аварии успешно приняли участие советские горноспасатели, применившие мощные насосы производительностью 375 м³/ч и напором 175 м.

Причина аварии: в результате неправильно принятого решения был разбурен и уменьшен междуэтажный целик угля с первоначальной толщиной 25 м.

Авария типа эндогенный пожар в выработанном пространстве на шахте № 35 Карагандинского бассейна (СССР) (1965). Разрабатывался пласт мощностью 1,4 м с углом падения 10°. Глубина разработки около 300 м. Подготовка этажная. Система разработки комбинированная, на откаточном горизонте выработка есть как впереди, так и сзади очистного забоя. Охрана ее производилась с помощью целиков угля.

Был обнаружен пожар по повышенному содержанию СО, что привело к остановке очистных работ на 2 мес.

Силами шахты и ВГСЧ для подавления очага пожара было сделано следующее.

В охранный целик с помощью шпуров подали 2900 кг жидкого стекла и 18 м³ цемента; соотношение смеси: 1 часть жидкого стекла, 4 — цемента и 10 частей воды; количество шпуров — 220 шт, длина шпура — 3 м, диаметр — 50 мм; шпуровые расположены по сетке 1000×1000 мм; был применен насос ВНМ-18.

В выработанное пространство из откаточного штрека и с поверхности земли с помощью глубоких скважин была подана заливка объемом 1200 м³, диаметр скважин — 100 мм, станок для бурения — СБГ-1.

Нагнетание 5—7% хлористого стекла в смеси с цементом и водой укрепило целик, а процесс окисления воздуха не прекратился. Это лучше изолировало очаг, однако полностью его не уничтожило. Только последующая объемная подача пульпы из глины, песка и мелких фракций прекратила развитие очага.

Причины аварии: недостаточное изолирование выработанного пространства; невыполнение требований его паспорта и нарушение объема подаваемой пульпы.

Авария типа вспышки метана на шахте Кэмбриан (Англия) (1965). Мощность разрабатываемого пласта — 1,5 м, с углом падения — 8—10°. В кровле (7 м) и почве (12 м) имелись два спутника. Подготовка секционная, система разработки — сплошная, по восстанию.

Свежий воздух в лаву поступал по конвейерному бремсбергу. Эта выработка на пути имела один кроссинг, так как пере-

секалась с горизонтным штреком, по которому шла исходящая струя, а также перемычку с дверью в выработку, идущей в отработанную секцию.

Количество воздуха в лаве при нормальном режиме составляло $4,7 \text{ м}^3/\text{с}$, при открытом проходе в кроссинге оно уменьшалось до $2,8 \text{ м}^3/\text{с}$ и при двух открытых проходах, т. е. в старую выработку, до $0,47 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вспышка метана, приведшая к 31 нулевому несчастному случаю, произошла в конце вентиляционного бремсберга (у лавы) около распредпункта, когда оба прохода (как было установлено) были открыты в течение 2,5 ч. Скорость воздуха в лаве составляла всего $0,1 \text{ м/с}$, в результате чего образовался слой метана с концентрацией 5%, двигавшийся к распредпункту, где его мощность составила 1,2 м. Загоревшийся метан распространялся в обе стороны от распредпункта, и в месте, где концентрация воздуха соответствовала взрывному, произошел взрыв.

Причины аварии: плохо организованный контроль за газообильностью выработок; временная конструкция кроссинга; неисправности во внешней цепи переключателя.

Авария типа взрыва метана в подготовительной выработке на шахте Сокурская (Карагандинский бассейн, СССР) (1978). Разрабатывался пласт мощностью 5,2 м в два слоя. Падение пласта — 18° . Подготовка секционная, причем секции отрабатывались через одну. Система разработки — столбовая по падению. В крыле шахтного поля, считая от границы, секции I и III были отработаны, секция II готовилась к отработке, секция IV не отрабатывалась из-за наличия в середине ее выработки с подсвежающей струей воздуха, секция V отрабатывалась на момент аварии.

Подготовка секции II заключалась в проходке сверху вниз вприсечку конвейерного бремсберга. В связи с большим количеством выделяющегося газа, исходящего из забоя присечки, было решено направлять его по специальной выработке непосредственно в исходящую секцию V. Часть специальной выработки была готова, а другая часть проходила и ожидалась сбойка этих частей. Перед сбойкой в готовой выработке были возведены две перемычки.

Однако когда выработки были сбиты, перемычки оказались некачественными и свежая струя из откаточного штрека горизонта накоротке стала поступать в исходящую струю секции V. При этом лавы верхнего и нижнего слоев остались без воздуха, были загазированы и в районе распредпункта произошел взрыв газа с 72 нулевыми несчастными случаями.

Причины аварии: некачественное выполнение перемычек; неисправность электрооборудования и применение нисходящего проветривания, что привело к появлению близкорасполо-

женных друг от друга параллельных выработок со свежей и исходящей струями.

Авария типа взрывов газа и пыли на шахте «Микава» (Япония) (1963). Мощность разрабатываемого пласта — 4,8 м с углом падения — 12°. Пласт вскрыт наклонными стволами. Система разработки слоевая.

Взрыв произошел в наклонном стволе из-за разрыва поднимаемого вверх состава, так что 8 вагонеток с породой, пролетев 300 м, опрокинули арки металлической крепи и подняли колоссальное облако пыли, обнажив кабели. Были и повторные взрывы газа. Время взрыва пришлось на пересмену, когда в шахте находились рабочие двух смен. Несмотря на то что в спасательных работах участвовало около 3 тыс. чел., число несчастных случаев с нулевым исходом достигло 458, произошедших главным образом из-за отравления окисью углерода.

Причины аварии: плохое состояние кабелей; плохие орошение и борьба с осевшей пылью; недостаточная дегазация пласта (установка бездействовала); недостаточная выучка рабочих согласно ПЛА; неумение быстро включаться и действовать в самоспасателях; сокращение на шахте инженерно-технических работников из числа надзора (16 чел. из 28), которое было произведено незадолго до взрыва.

17. ГОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Горная промышленность в силу своей специфики — большие отходы пустой породы из шахт, выходящие на поверхность вредные газы и пыль, повреждение почвенного слоя на больших площадях и т. д. — может наносить значительный урон окружающей среде. В связи с этим наряду с охраной недр разработка полезных ископаемых ставит ряд вопросов и по охране окружающей среды.

В 1972 г. было принято постановление «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов», в котором определены функции министерств и ведомств по улучшению планирования, созданию межведомственных структурных подразделений и решению задач в области окружающей среды.

В АН СССР работает Научный совет по проблемам биосферы. Он руководит работой многих научных учреждений, разрабатывающих научные основы рационального использования охраны недр и окружающей среды.

Контроль за выполнением решений в указанной области проводит Главное санитарно-эпидемиологическое управление Министерства здравоохранения СССР, имеющее 4700 санэпидемстанций. В их функции входит надзор за уровнем загрязнения вредными веществами атмосферы промышленных зон и населенных пунктов, а также надзор за работой газоочистных и пылеулавливающих установок.

СССР осуществляет международное сотрудничество по вопросам охраны окружающей среды в Совете Экономической Взаимопомощи (СЭВ), Международном совете научных союзов (МСНС), Научном комитете по проблемам окружающей среды (СКОПЕ), программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера», Программе ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Глобальной системе мониторинга окружающей среды (ГСМОС), Международном союзе охраны природы и природных ресурсов (МСОП) и др. Благодаря международному сотрудничеству формируется правовая основа защиты окружающей среды на земном шаре.

К основным мероприятиям по охране окружающей среды, проводимым на горных предприятиях [16, 19, 20, 27, 28], относятся: предварительная дегазация с целью уменьшения выброса газа в атмосферу; применение специальной подземной технологии с целью сохранения поверхности земли и уменьшения пыле- и газовыделений; соблюдение санитарно-защитных зон; озеленение поверхности; очистка выбрасываемого воздуха и сточных вод в очистных сооружениях; при открытой разработке — предварительное снятие плодородного почвенного слоя с целью последующей рекультивации земель; устройство внутренних отвалов и локализация участков земной коры с целью исключения нарушения водного режима района.

*
* *

После того как материал завершен, необходимо отметить ряд общих особенностей учебного пособия, важных для иностранных студентов.

Одним из основных вопросов является газообильность по метану отдельных выработок и шахт в целом. Вопрос в пособии рассматривается при прогнозе изменения содержания газов с глубиной горных работ, расчете проветривания (см. с. 19, 143, 193, 199). Насколько это важно для безопасности горных работ, говорит тот факт, что составление технологического проекта угольной шахты после уточнения размеров и запасов шахтного поля начинается с определения газообильности.

Для борьбы с высокой газообильностью, взрывами и внезапными выбросами метана следует обратить внимание на мероприятия, обеспечивающие нормальные условия добы-

чи полезного ископаемого (с. 22, 245, 250), подобранные на основе опыта СССР. К этому следует добавить мероприятия по борьбе с рудничной пылью (с. 32, 247).

В мероприятиях по борьбе с высокими температурами рудничного воздуха в глубоких шахтах (с. 43) следует обратить внимание на меры, применение которых позволяет эффективно снижать указанную температуру, производя минимум экономических затрат. К ним относятся все способы, естественно или искусственно ограждающие рудничный воздух от источников тепла — массива пород и шахтной воды или охлаждающие струю воздуха простейшими средствами — талой водой, сжатым воздухом и т. д.

При разработке теоретических вопросов и эффективных средств спасения людей и ликвидации аварий в шахте необходимо обратить внимание на возможную тепловую депрессию движущегося воздуха при рудничном пожаре, особенно механизма которой является нежелательное опрокидывание струн в одной из нескольких рядом идущих параллельных выработок (наклонных или вертикальных).

Необходимо обратить внимание также на создание благоприятных условий для воздухообмена в карьере (с. 43, 214), особенно на борьбу с туманами, запыленностью и вредными газами при огневом бурении, массовых взрывах и автомобильном транспорте.

Ряд разделов учебного пособия требует от студентов дополнительного ознакомления с литературой, приведенной в библиографии. Это связано с ограниченностью объема учебного пособия, а также с тем, что большую часть времени студент должен уделять самостоятельной работе: по разделам I—II—1, 3, 4, 22, 25, 26, 26 а, 39, 41; III—10, 37; IV—V—20, 21; VI—18, 31—34, 43; VII—VIII—15, 36; IX—6, 26, 28, 42; X—38, 42; XI—XII—5, 38, 42; XIII—2, 7, 15, 16, 30; XIV—20а, 29, 35; XV—XVI—9, 17, 29, 43; XVII—23, 24.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айруни А. Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. — М.: Недра, 1981. — 335 с.
2. Бабочкин И. А. Система безопасности труда на горных предприятиях. — М.: Недра, 1984. — 320 с.
3. Борьба с пылью и вредными газами в железно-рудных шахтах/Авт.: Янов А. П., Ващенко В. С., Гагауз Ф. Г. и др. — М.: Недра, 1984. — 228 с.
4. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах/Авт.: Петрухин П. М., Гродель С. С., Жилияев Н. И. и др. — М.: Недра, 1981/ — 271 с.
5. Борьба с шумом на производстве: Справочник. — М.: Машиностроение, 1985. — 400 с.
6. Борячев Н. И., Семенов А. П. Охрана труда на угольных шахтах: Справочное пособие. — М.: Недра, 1970. — 240 с.
7. Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Богданов Г. И. Разработка руд на больших глубинах. — М.: Недра, 1982. — 292 с.
8. Горно-спасательные работы при обрушениях выработок в угольных шахтах/Авт.: Привалов Н. И., Романчук А. Л., Шевченко Ю. А. и др. — Кнв.: Техніка, 1983. — 126 с.
9. Григорьев В. Н., Дьяков В. А., Пухов Ю. С. Транспортные машины для подземных выработок. — М.: Недра, 1984. — 384 с.
10. Диденко Н. С. Регенеративные респираторы для горно-спасательных работ. — М.: Недра, 1984. — 167 с.
11. Евстигнеев В. А. Применение теории графов в программировании. — М.: Наука, 1985. — 352 с.
12. Единые правила безопасности при взрывных работах. — М.: Недра, 1976. — 240 с.
13. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. — М.: Недра, 1972. — 96 с.
14. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. — М.: Недра, 1977. — 223 с.
15. Законодательные акты о труде. — Киев: Политиздат Украины, 1976. — 631 с.
16. Именитов В. Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. — М.: Недра, 1984. — 505 с.
17. Картавый Н. Г. Стационарные машины. — М.: Недра, 1981. — 327 с.
18. Кутузов Б. И. Взрывное разрушение горных пород. — М.: Недра, 1984. — 311 с.
19. Машковцев И. Л. Технология подземной добычи угля. — М.: изд. УДН, 1982. — 86 с.
20. Машковцев И. Л. Технология подземной добычи угля. — М.: изд. УДН, 1983. — 78 с.

- 20а. Машковцев И. Л. Проветривание горных выработок. — М.: изд. УДН, 1973.—256 с.
21. Машковцев И. Л. Охрана труда и горно-спасательное дело. — М.: Изд-во УДН, 1985.—44 с.
22. Машковцев И. Л., Пронин В. И. Лабораторный практикум по курсу «Рудничная аэрология». — М.: Изд-во УДН, 1985.—78 с.
23. Мухитдинов Н. Б. Основы горного права. — Алма-Ата: Казахстан, 1983.—248 с.
24. Мясников А. А., Казаков С. П. Проветривание подготовительных выработок при проходке комбайнами. — М.: Недра, 1981.—269 с.
25. Мясников А. А., Миллер Ю. А., Комаров Н. Е. Вентиляционные сооружения в угольных шахтах. — М.: Недра, 1983.—270 с.
26. Охрана труда / Авт.: Ушаков К. З., Кирин Б. Ф., Пожкин И. А. и др. — М.: Недра, 1986.—624 с.
- 26а. Нормы радиоционной безопасности НРБ-76 и основные санитарные правила работ с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующими излучением ОСП-72/80. — М.: Энергоиздат, 1981.—92 с.
27. Охрана окружающей среды / Авт.: Барбинов Ф. А., Козьяков А. Ф., Белов С. В. и др. — М.: Высшая школа, 1983.—264 с.
28. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. — М.: Недра, 1976.—400 с.
29. Подерни Ф. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ. — М.: Недра, 1985.—544 с.
30. Ржевский В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. — М.: Недра, 1980.—631 с.
31. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. — М.: Недра, 1979.—319 с.
32. Руководство по дегазации угольных шахт. — М.: Недра, 1975.—189 с.
33. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. — М.: Недра, 1975.—238 с.
34. Сборник инструкций и других нормативных документов по ТБ для угольной промышленности. — М.: Недра, 1978.—744 с.
35. Соболев Г. Г. Горно-спасательное дело. — М.: Недра, 1979.—432 с.
36. Солод В. И., Зайков В. И., Первов К. М. Горные машины и автоматизированные комплексы. — М.: Недра, 1981.—530 с.
37. Способы вскрытия, подготовки и системы разработки шахтных полей / Авт.: Братченко Б. Ф., Устинов М. И., Галанович Л. Н. и др. — М.: Недра, 1985.—494 с.
38. Справочник по борьбе с пылью в горно-добывающей промышленности. — М.: Недра, 1982.—240 с.
39. Справочник по инженерной психологии. — М.: Машиностроение, 1982.—368 с.
40. Справочник по рудничной вентиляции. — М.: Недра, 1977.—328 с.
41. Справочник по технике безопасности и промышленной санитарии в угольных шахтах. — М.: Недра, 1977.—335 с.
42. Уминов А. Е. Охрана труда и противопожарная защита в горно-рудной промышленности. — М.: Недра, 1985.—246 с.
43. Филатов С. С. Вентиляция карьеров. — М.: Недра, 1981.—206 с.
44. Ушаков К. З., Бурчаков А. С., Медведев И. И. Рудничная аэрология. — М.: Недра, 1978.—241 с.
45. Хейфиц С. Я., Балтайтис В. Я. Охрана труда и горно-спасательное дело. — М.: Недра, 1978.—423 с.
46. Цейтлин Ю. А. Проектирование и эксплуатация шахтных систем кондиционирования воздуха. — М.: Недра, 1983.—261 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. АТМОСФЕРА ШАХТ И КАРЬЕРОВ	5
1.1. Образование рудничного воздуха	5
1.2. Состав рудничного воздуха	6
1.2.1. Основные газы	6
1.2.2. Вредные примеси рудничного воздуха	8
1.3. Метан CH_4 (рудничный газ)	13
1.3.1. Свойства метана	13
1.3.2. Виды существования и выделения CH_4	15
1.3.3. Допустимые нормы содержания метана в рудничном воздухе	16
1.3.4. Газоносность месторождения	18
1.3.5. Газообильность шахт	19
1.3.6. Прогноз газообильности	19
1.3.7. Управление газовыделением и дегазация	22
1.3.8. Особенности разработки пластов, опасных по газу	26
1.4. Рудничная пыль	27
1.4.1. Общие сведения о рудничной пыли	27
1.4.2. Нормы запыленности рудничной атмосферы	29
1.4.3. Основы динамики аэрозолей	30
1.4.4. Меры борьбы с рудничной пылью	32
2. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ШАХТ И КАРЬЕРОВ	38
2.1. Климатические факторы рудничного воздуха	38
2.2. Температурный градиент и геотермическая ступень	38
2.3. Нормы тепловых условий воздуха шахт	40
2.4. Расчеты теплового режима	40
2.5. Регулирование теплового режима шахт и карьеров, кондиционирование рудничного воздуха	43
3. РУДНИЧНАЯ АЭРОДИНАМИКА	49
3.1. Основные законы движения воздуха в горных выработках	50
3.1.1. Уравнение неразрывности струи	50
3.1.2. Приложение уравнения Бернулли к движению воздуха по выработкам	51
3.1.3. Типы и режимы воздушных потоков	54
3.1.4. Закон аэродинамического сопротивления	56
3.2. Характеристика аэродинамического сопротивления выработок и шахт	61
3.2.1. Сопротивление шахты	61
3.2.2. Сопротивление разветвленной системы выработок	62
3.3. Понятие об электрическом моделировании шахтных вентиляционных сетей	80

3.4. Эквивалентное отверстие и пропускная способность шахт	83
3.5. Естественная тяга воздуха на шахтах и в карьерах	87
4. ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК	93
4.1. Вентиляторные установки	93
4.2. Анализ совместной, последовательной или параллельной работы вентиляторов	97
4.3. Определение режима проветривания в разветвленной сети при параллельной работе вентиляторов	100
4.4. Определение режима проветривания шахты, имеющей утечки в устье ствола	102
4.5. Анализ совместной работы вентилятора и естественной тяги	103
4.6. Регулирование количества воздуха в вентиляционной сети выработок шахт	104
4.6.1. Регулирование общешахтного количества воздуха	105
4.6.2. Перераспределение воздуха между выработками	108
4.7. Утечки воздуха в шахтных вентиляционных сетях, герметичность вентиляционных сооружений	118
4.7.1. Коэффициент утечек воздуха	118
4.7.2. Регулирование утечками	119
4.7.3. Воздухонепроницаемость вентиляционных сооружений	120
5. ПРОВЕТРИВАНИЕ ВЫРАБОТОК ПРИ ПРОХОДКЕ	133
5.1. Анализ способов проветривания подготовительных выработок	133
5.2. Расчет проветривания подготовительных выработок	143
5.3. Вентиляционное оборудование, применяемое при проходке выработок	149
6. КОНТРОЛЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ И ПЫЛЕВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЛУЖБА НА ШАХТАХ И В КАРЬЕРАХ	155
6.1. Методы определения физических констант, характеризующих состав рудничного воздуха	155
6.2. Методы определения констант тепловых условий	168
6.3. Методы определения скорости движения и количества проходящего рудничного воздуха	170
6.4. Методы определения давления движущегося воздуха	173
6.5. Основные работы, выполняемые участком вентиляции и техники безопасности, по контролю за рудничной атмосферой	179
7. ВЕНТИЛЯЦИЯ И ГОРНЫЕ РАБОТЫ	184
7.1. Системы и схемы проветривания шахт и карьеров	184
7.2. Влияние вентиляции на нагрузку лав и сечение выработок	192
8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ И КАРЬЕРОВ	197
8.1. Определение общешахтного количества воздуха	197
8.2. Определение общешахтной депрессии	205
8.3. Выбор главного вентилятора шахты	206
8.4. Оценка природных условий карьера	207
8.5. Определение зон рециркуляции ветра в карьере	210
8.6. Расчет средств искусственного воздухообмена в карьере	211
8.7. Определение экономических показателей проекта вентиляции шахт и карьеров	214
9. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ ТРУДА В СССР	216
9.1. Основные понятия и определения	216
9.2. Общее трудовое законодательство	217
9.3. Особенности охраны труда на горных предприятиях	219
9.4. Надзор по охране труда	220
10. ТРАВМАТИЗМ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	222
10.1. Характеристика производственных травм	222
10.2. Причины травматизма	223
10.3. Показатели и учет травматизма	223
10.4. Анализ и исследование травм и причин их получения	226
10.5. Меры борьбы с травматизмом и профессиональными заболеваниями	231

11. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРУДА	322
11.1. Санитарно-гигиенические факторы, влияющие на выбор площадки горного предприятия и его нормальную работу	232
11.2. Обеспечение нормальных условий по температуре и влажности рудничного воздуха	236
11.3. Обеспечение нормальных условий при работе с повышенным дав- лением воздуха	237
11.4. Уменьшение производственного шума и вибраций	239
11.5. Обеспечение нормальной освещенности рабочих мест	241
12. ГАЗОВЫЙ И ПЫЛЕВОЙ РЕЖИМЫ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯ- ТИЯХ	243
12.1. Основные положения газового режима	243
12.2. Основные положения пылевого режима	247
12.3. Индивидуальные средства защиты от пыли	247
13. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ГОРНЫХ РАБОТ	249
14. САМОВОЗГОРАНИЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО И РУД- НИЧНЫЕ ПОЖАРЫ	257
14.1. Классификация рудничных пожаров	257
14.2. Условия возникновения пожаров	258
14.2.1. Экзогенные пожары	258
14.2.2. Эндогенные пожары	259
14.3. Профилактика рудничных пожаров	262
14.4. Методы обнаружения рудничных пожаров	266
14.5. Способы тушения пожаров	269
14.6. Признаки ликвидации рудничного пожара	278
15. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ ШАХТ ПРИ АВАРИЯХ	278
16. ГОРНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПРИ АВАРИЯХ	281
16.1. Описание аварий и их некоторых предупредительных признаков	281
16.2. Организация горно-спасательных работ	283
16.3. Оснащение и тактика действий ВГСЧ при спасении людей и лик- видации аварии.	293
16.3.1. Оснащение ВГСЧ	293
16.3.2. Основные тактические положения ВГСЧ при спасении людей, ликвидации аварий и их последствий	298
16.4. Примеры из практики горно-спасательных работ	300
17. ГОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	303
Литература	306

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

В 1987 году в Издательстве Университета дружбы народов выйдет в свет книга:

Дидух Б. И. Упругопластическое деформирование грунтов: Монография. — 12 п. л. — 1 р. 20 коп.

В работе изложены современные представления о закономерностях упругопластического деформирования грунтов и теоретических моделях, которые используются для их описания при проведении практических расчетов устойчивости и смещений объектов строительства.

Для преподавателей, аспирантов, советских и иностранных студентов, специализирующихся в области строительства и механики грунтов.

Игорь Львович Машковцев,
Григорий Артемович Балыхин

АЭРОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА
НА ШАХТАХ И В КАРЬЕРАХ

Учебное пособие

Редактор М. М. Пронина
Худож. редактор Л. А. Прокопова
Техн. редактор Ю. В. Михалёва
Корректоры В. Ф. Демидова, Н. Н. Саммур

ИБ № 272

Сдано в набор 30.04. 1986 г. Подписано к печати 28.XI. 86. Л-70608. Формат 60×90¹/₁₆. Высокая печать. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Усл. печ. л. 19,5. Усл. кр.-отт. 19,5. Уч.-изд. л. 20,51. Тираж 2665 экз. Изд. № 411. Заказ 719. Цена 1 руб.

Издательство Университета дружбы народов
117923, Москва, ул. Орджоникидзе, 3

Типография Издательства УДН, 117923, Москва, ул. Орджоникидзе, 3

Набрано и отпечатано в типографии Издательства УДН.
Изготовлено в ордена Трудового Красного Знамени Московской типографии № 7 «Искра революции» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
103001, Москва, 3-х Прудный пер., 9.