

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

В.А. Трофимов, А.Л. Кавера

АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Специальность: 21.05.04 «Горное дело»

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
«Охрана труда и аэрология»
13 января 2022 г. Протокол № 8

УДК 622.4

Аэрология горных предприятий. Конспект лекций / Сост.: В.А. Трофимов, А.Л. Кавера – Донецк: ДОННТУ, 2022. – 122 с.

В конспекте лекций последовательно излагаются основные понятия, законы и методы аэрологии и вентиляции горных предприятий (шахт и карьеров).

Конспект предназначен для использования в учебном процессе студентами горных специальностей.

Составители: В.А. Трофимов, к.т.н., доц.,
А.Л. Кавера, к.т.н., доц.

Рецензент: Ю.А. Петренко, д.т.н., проф.

СОДЕРЖАНИЕ:

1. Шахтный воздух	4
2. Метан	9
3. Основные законы, понятия и определения рудничной аэрологии.....	16
4. Аэродинамическое сопротивление горных выработок	19
5. Шахтные вентиляционные сети	22
6. Естественная тяга	28
7. Работа вентиляторов на шахтную вентиляционную сеть	33
8. Вентиляционные установки и сооружения.....	37
9. Регулирование расходов воздуха в горных выработках	42
10. Утечки воздуха	45
11. Пылевой режим шахт	48
12. Тепловой режим шахт	52
13. Проветривание выемочных участков	55
14. Проветривание тупиковых выработок	58
15. Способы проветривания и схемы вентиляции шахт	66
16. Проектирование вентиляции шахт	70
17. Устойчивость проветривания горных выработок	77
18. Аварийные вентиляционные режимы на угольных шахтах	81
19. Вентиляционная служба шахт	87
20. Теоретические основы регулирования воздухораспределения	93
21. Физические и аэродинамические границы горной выработки.....	95
22. Особенности изменений аэродинамического сопротивления выработок.....	98
23. Аэрология карьеров. Естественное проветривание карьеров.....	99
24. Искусственное проветривание карьеров.....	114
Список литературы.....	129

1. ШАХТНЫЙ ВОЗДУХ

1.1 Атмосферный воздух

Атмосферный воздух – это газообразная оболочка, окружающая земную поверхность и состоящая из смеси газов и паров. Его состав, в результате высокой турбулизации, постоянный над поверхностью земли до высоты 20 км. Резкие колебания состава воздуха, как правило, связаны с разным характером поверхности земли и деятельностью людей. В последние десятилетия состав атмосферы претерпевает постоянные изменения, вызванные деятельностью человеческой цивилизации. Повышается содержание углекислого газа и фреона. Первый, по мнению ученых, способствует возникновению парникового эффекта, а второй – озоновых дыр.

Средний состав атмосферного воздуха на уровне моря (в процентах от объема) включает азот (78,08 %), кислород (20,95 %), аргон (0,93 %), углекислый газ (0,03 %) и группу разных газов, включая инертные (0,01 %).

Содержание пыли в атмосфере повышено над материками, но иногда потоки воздуха заносят пыль в часть атмосферы над морями и океанами.

1.2 Воздух в горных выработках

Атмосферный воздух, который поступил в горные выработки и заполнил их, в процессе своего движения, называется рудничным или шахтным воздухом. Наиболее существенные изменения воздуха происходят в выработках очистных и подготовительных участков. Поэтому, условно, шахтный воздух, который заполняет горные выработки до очистных забоев и подготовительных выработок, называется свежим, а воздух, который заполняет выработки за забоями (за лавами и тупиковой частью подготовительных выработок), – отработанным. В соответствии с этим делением, струя воздуха, который движется от поверхности к забоям, называется, поступающей (свежей), а от забоев к поверхности земли – исходящей. Атмосферный воздух, попадая в горные выработки, изменяет свои физические параметры, химический состав и загрязняется разными примесями. Давление воздуха увеличивается с увеличением глубины залегания горных выработок. Работа вентиляторов главного проветривания незначительно влияет на давление. При всасывающем способе проветривания шахты, оно немного уменьшается, а при нагнетательном – увеличивается. Главная особенность теплового состояния рудничного воздуха, в сравнении с атмосферным, заключается в уменьшении суточных и сезонных колебаний температуры, а также, в повышении температуры, в сравнении со среднегодовой температурой воздуха на поверхности земли. Например, в рудниках ЮАР, температура воздуха достигает 60°C, на глубине до 4 км. Повышение влажности воздуха происходит за счет поступления в выработки подземных вод и может составлять от 60 до 100 %. Состав воздуха, при движении по горным выработкам, постоянно изменяется. Уменьшается содержание кислорода, увеличивается содержание углекислого газа и азота, появляется ряд газов, которые не содержатся в рудничной атмосфере. Содержание газов в воздухе характеризуется их концентрацией – отношением количества данного газа (в объемной или весовой единицах) ко всему количеству газовой смеси. Чаще всего используется объемная концентрация, выраженная в процентах.

Пересчет объемной концентрации C_o (%) газов в массовую концентрацию C_m (мг/м³) или наоборот, производится по формуле

$$C_m = 446 M_2 C_o,$$

где M_2 – относительная молекулярная масса газа (*величина безразмерная*).

1.3 Состав рудничного воздуха

В состав рудничного воздуха (как и атмосферного) входят кислород, углекислый газ и азот. Кроме этого в рудничном воздухе могут быть взрывчатые, ядовитые, радиоактивные, инертные газы и пары.

Кислород (O₂) – газ без цвета, вкуса и запаха. Его плотность равняется (относительно плотности воздуха) 1,11 при температуре 0°С и давлении 760 мм рт. ст., плохо растворим в воде.

В соответствии с Правилами безопасности, содержание кислорода в рудничном воздухе должно быть не менее 20 %. В выдыхаемом воздухе его содержится около 17 %. Повышение атмосферного давления воспринимается организмом, как повышение содержания кислорода и наоборот. Вдыхание чистого кислорода не вызывает отрицательных последствий в течение 5-6 часов (*затем снижается температура тела и замедляется пульс*). Содержание кислорода в горных выработках уменьшается в результате его участия в окислительных процессах и замещения разными газами, которые выделяются из угля и горных пород (метан, углекислый газ и др.). К окислительным процессам, которые поглощают кислород, в первую очередь, относится окисление полезных ископаемых. В плохо проветриваемых выработках концентрация кислорода за несколько суток может уменьшиться до 3-5 %. Кроме того, уменьшение содержания кислорода происходит в результате взрывных и сварочных работ, работы двигателей внутреннего сгорания, также при рудничных пожарах, взрывах метана и угольной пыли. Уменьшение содержания кислорода вначале приводит к возбуждению, повышенной говорливости, беспричинному веселью, затем наступает угнетенное состояние. При снижении концентрации кислорода приблизительно до 17 % наступают одышка и повышено сердцебиение, а при 12 % атмосфера становится смертельно опасной.

Азот (N₂) – газ без цвета, вкуса и запаха, плохо растворим в воде. Плотность – 0,97. Химически инертный. Он всегда содержится в крови человека. При внезапном уменьшении давления (например, быстрый подъем водолаза) в крови могут образовываться пузырьки азота, что вызывает кессонную болезнь или смерть. Насыщение организма азотом при высоком давлении вызывает токсическое действие. В рудничный воздух поступает из угля и пород. Кроме того, N₂ образуется при взрывных работах и гниении органических веществ. Содержание азота в рудничном воздухе не нормируется.

Углекислый газ (CO₂) – газ без цвета, со слабо кислым вкусом. Плотность – 1,52. Химически инертный, не горит и не поддерживает горение, хорошо растворим в воде.

Различают три вида выделения углекислого газа в горные выработки: обычное, суфлярное и внезапное. При обычном выделении CO₂ поступает в рудничную атмосферу непосредственно с обнаженной поверхности угольного или породного массива, образуется при измельчении горной массы. При суфлярном выделении газ интенсивно поступает в выработки через большие трещины в горном массиве.

Дебит суфляров, впоследствии, уменьшается. В Донецком угольном бассейне относительная углекислотность шахт не превышает $15 \text{ м}^3/\text{т}$.

Угольные шахты по выделению углекислого газа разделяются на 4 категории: I – до $5 \text{ м}^3/\text{т}$, II – от 5 до $10 \text{ м}^3/\text{т}$, III – от 10 до $15 \text{ м}^3/\text{т}$ и сверхкатегорная – более $15 \text{ м}^3/\text{т}$. Это распределение используется при расчете количества воздуха для проветривания шахт.

При содержании CO_2 в воздухе около 3 %, дыхание учащается в 2 раза. При 5-8 % появляются признаки раздражения глаз и верхних дыхательных путей, головокружение, одышка, тошнота, повышение артериального давления. Смертельная концентрация – 20-25 %.

Максимальные допустимые концентрации CO_2 в шахтах и рудниках:

- рабочие места и общие исходящие струи участков: 0,5 %;
- общая исходящая крыла, шахты: 0,75 %;
- проведение и восстановление выработок по завалу: 1 %.

1.4 Опасные примеси в рудничном воздухе

К ядовитым примесям рудничного воздуха относятся окислы углерода, окислы азота, серистый газ и сероводород.

Оксид углерода (CO) – газ без цвета, вкуса и запаха, с плотностью 0,97, плохо растворим в воде. Горит и взрывается при концентрации от 12,5 до 75 %. Температура воспламенения, при концентрации 30 % – $630-810^\circ\text{C}$. Очень ядовитый. Он в 300 раз активнее соединяется с гемоглобином крови, чем кислород. Кроме острого отравления, человек может получить и хроническое (поражается центральная нервная система, ухудшается зрение, появляются боли в области сердца). Смертельная концентрация – 0,4 %. Допустимая концентрация в горных выработках – 0,0017 % (0,008 % – после взрывных работ). Основная помощь при отравлении – искусственное дыхание в выработке со свежим воздухом.

Источниками оксида углерода являются: взрывные работы, работы двигателей внутреннего сгорания, рудничные пожары, взрывы метана и угольной пыли.

Сероводород (H_2S) – газ без цвета, со сладковатым вкусом и запахом тухлых яиц. Плотность – 1,19. Является частым спутником сернистого газа. Сероводород горит, а при концентрации 6 % взрывается. Очень ядовитый, раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, более тяжелое отравление вызывает рвоту, нарушение дыхания и деятельности сердца. Ощутим в воздухе при концентрации 0,0001-0,0002 %. Смертельная концентрация – 0,1 %. Первая помощь при отравлении – искусственное дыхание на свежей струе, вдыхание хлора (с помощью платка, смоченного хлорной известью).

Сероводород выделяется из горных пород и минеральных источников. Образуется при гниении органических веществ, рудничных пожарах и взрывных работах.

Сероводород хорошо растворяется в воде. Это необходимо учитывать при передвижении людей по заброшенным выработкам. Допустимое содержание H_2S в рудничном воздухе не должно превышать 0,00071 %. При наличии H_2S шахта переводится на газовый режим.

Сернистый газ (SO_2) – газ без цвета, с сильным раздражающим запахом и кислым вкусом. Тяжелее воздуха в 2,3 раза. Очень ядовитый, раздражает слизистые

оболочки дыхательных путей и глаз, вызывает воспаление бронхов, отек гортани и бронхов. Сернистый газ образуется при взрывных работах (в сернистых породах), пожарах, выделяется из горных пород. Допустимое содержание в рудничном воздухе – 0,00038 %. Ощутим в воздухе при концентрации 0,0005 %. Концентрация 0,05 % опасна для жизни.

Оксиды азота (NO, NO₂, N₂O₄, N₂O₅) – имеют бурый цвет и характерный резкий запах. NO₂ тяжелее воздуха в 1,59 раза, хорошо растворяется в воде, образуя азотную и азотистую кислоты. Очень ядовитые, вызывают раздражение слизистых оболочек дыхательных путей и глаз, отек легких. Отравление происходит в несколько стадий. Вначале – кашель, слабость, головная боль. Через 30-60 мин – период мнимого благополучия. Этот скрытый период длится 3-6 часов и более. В это время развивается отек легких. Смертельная концентрация, при кратковременном вдыхании – 0,025 %. Предельное содержание окислов азота в рудничному воздуху не должно превышать 0,00025 % (в перечислении на двуокись азота NO₂).

Аммиак (NH₃) – газ без цвета, с резким раздражающим запахом. Плотность – 0,596. Хорошо растворим в воде. Взрывается при концентрации 16-26 %. Аммиак ядовит, раздражает слизистые оболочки и кожу, а при высоких концентрациях вызывает отек гортани, ожоги слизистых оболочек верхних дыхательных путей, а при попадании в глаза – слепоту. Образуется NH₃ при разложении азотсодержащих соединений. Выделяется в воздух при взрывных работах, повреждении холодильных машин, при тушении пожаров (от взаимодействия воды с углем). Допустимое содержание в рудничном воздухе – 0,0025 %.

Акролеин (C₃H₄O) – бесцветная, легко испаряющаяся жидкость с запахом пригорелых жиров. Пары акролеина тяжелее воздуха в 1,9 раза. Образуется при разложении дизельного топлива под действием высокой температуры. Хорошо растворим в воде, в атмосфере может присутствовать в виде пара.

Акролеин очень ядовит, раздражает слизистые оболочки, вызывает головокружение, тошноту, боли в желудке, рвоту. При тяжелом отравлении наблюдается похолодание конечностей, слюнотечение, замедление пульса, потеря сознания. Максимально допустимая концентрация в воздухе – 0,000008 %. Пребывание в атмосфере с концентрацией этого газа 0,014 % в течение 10 мин опасно для жизни.

Водород (H₂) – газ без цвета, с плотностью – 0,07, плохо растворим в воде. Горит и взрывается при концентрации от 4 до 74 %. Температура воспламенения на 100-200°C ниже чем у метана. Выделяется в рудничный воздух из пород и угля, а также образуется в шахтах при зарядке аккумуляторных батарей.

Шахты (рудники) опасные по выделению водорода разделяются на четыре категории, по количества горючих газов (CH₄ + H₂), которые выделяются на 1 м³ суточной добычи горной массы: I – до 7 м³, II – от 7 до 14 м³, III – от 14 до 21 м³ и сверхкатегорные – свыше 21 м³. При этом принимается, что 1 м³ водорода эквивалентен 2 м³ метана.

Максимально допустимая концентрация водорода в воздухе 0,5 %.

Радиоактивные примеси в рудничном воздухе встречаются в виде газообразных продуктов (эманаций) распада некоторых руд. Чаще всего встречаются радон, торон (радон-220) и актион. Опасность эманаций заключается в

их ионизирующем излучении. Продукты распада эманаций, в свою очередь, излучают α , β , γ -лучи. Санитарная норма радона в рудничном воздухе $100 \cdot 10^{-11}$ кюри/л.

Кроме вышеперечисленных газов в шахтах (рудниках) встречаются альдегиды, пары мышьяка, ртути, цианистый водород (*синильная кислота*). Все они очень ядовиты. Из тяжелых углеводородов встречается этан, пропан, бутан. Они могут выделяться из угля и образовываться при взрывных работах. Все они взрывоопасны.

Контроль за составом и содержанием газов в воздухе может осуществляться непрерывно или эпизодически. Приборы газового контроля подразделяются на переносные, стационарные и встроенные. Газоанализаторы бывают: химические, оптические, оптико-акустические (*основан на принципе поглощения инфракрасного излучения*), термокондуктометрические (*основан на использовании разницы в теплопроводных свойствах измеряемого газа и воздуха*), на газочувствительных полупроводниковых элементах.

2. МЕТАН

Метан является основной, наиболее распространенной частью рудничного газа. В литературе и на практике, метан, чаще всего отождествляется с рудничным газом. В рудничной вентиляции этому газу уделяется наибольшее внимание из-за его взрывчатых свойств.

2.1 Физико-химические свойства метана

Метан (CH_4) – газ без цвета, вкуса и запаха, плохо растворим в воде. Плотность – 0,554. Метан инертен, но, вытесняя кислород, может составлять опасность для людей. Возгорается при температуре 650-750°C. С воздухом метан образует горючие и взрывчатые смеси. При содержании в воздухе до 5-6 % горит у источника тепла, от 5-6 % до 14-16 % – взрывается, свыше 14-16 % – не горит и не взрывается. Наибольшая сила взрыва – при концентрации 9,5 %.

Одно из свойств метана – запаздывание вспышки, после контакта с источником воспламенения. Время запаздывания вспышки называется индукционным периодом. Наличие этого периода создает условия для предупреждения вспышки при взрывных работах, применяя предохранительные взрывчатые вещества (ВВ). Продолжительность индукционного периода быстро уменьшается при повышении температуры воспламенения и незначительно увеличивается при увеличении содержания метана. Так при концентрации 6 % и температуре 750°C – 1,08 с, 6 % и 1075°C – 0,039 с, 12 % и 750°C – 1,64 с, 12 % и 1075°C – 0,055 с. Изменение атмосферного давления практически не оказывает влияние на продолжительность индукционного периода.

Температура продуктов взрыва метана в неограниченном объеме достигает 1875°C, в ограниченном – 2150-2650°C. Давление газа в месте взрыва приблизительно в 8-9 раз выше начального давления газозадушной смеси до взрыва. При этом может возникать давление до 30 атмосфер и выше. Разные препятствия в выработках (сужение, выступы и т. д.) способствуют повышению давления и увеличивают скорость распространения взрывной волны в горных выработках.

При взрыве метана в шахтах наблюдаются два удара – прямой и обратный. Прямой удар – взрывная волна распространяется от источника воспламенения к периферии. Обратный удар – взрывная волна, которая распространяется в обратном направлении, к центру взрыва (образуется в результате возникновения разряжения после остывания продуктов взрыва и конденсации паров воды).

Горение метана происходит в соответствии с реакцией



При недостатке кислорода, горение метана приводит к образованию СО. В этом случае имеет место реакция



2.2 Связь метана с породами

В породах метан находится в двух состояниях: в виде свободного и сорбированного (связанного) газа. В шахтах основное количество метана находится в сорбированном состоянии. Различают три формы связи метана с твердым

веществом: адсорбцию (связывание молекул газа на поверхности твердого вещества под действием сил молекулярного притяжения), абсорбцию (проникновение молекул газа в твердое вещество без химического взаимодействия) и хемсорбцию (химическое соединение молекул газа и твердого вещества). Метан находится, в основном, в адсорбированном состоянии. С повышением давления, количество сорбированного метана увеличивается, с повышением температуры – уменьшается.

2.3 Метаноносность и метаноемкость

Метаноносность – количество метана, который содержится в естественных условиях в единице веса (объема) угля или породы ($\text{м}^3/\text{т}$, $\text{м}^3/\text{м}^3$).

Метаноемкостью называется количество газа в свободном и сорбированном состоянии, которое может поглотить единица веса или объема (угля или породы) при данном давлении и температуре ($\text{см}^3/\text{г}$, $\text{см}^3/\text{см}^3$).

Основные факторы, которые определяют метаноносность угольных отложений, это степень метаморфизма угля, способность к сорбированию, пористость и газопроницаемость отложений, влажность, геологическая история месторождения, глубина залегания, гидрогеология и угленасыщенность месторождения.

В Донбассе газоносность каменных углей и антрацитов достигает своего максимума на глубине 600-1300 м. При дальнейшем увеличении глубины она уменьшается. В Карагандинском бассейне максимум – на глубине 500 м. Это связано с уменьшением сорбционной способности углей при повышении температуры с глубиной.

2.4 Выделение метана в шахтах

В горные выработки метан выделяется с обнаженной поверхности угольных пластов, из отбитого угля, из выработанного пространства, с обнаженной поверхности пород.

Виды выделения метана: обыкновенное, суфлярное, внезапное.

Обыкновенное – метан выделяется с обнаженной поверхности угольного массива через мелкие, невидимые трещины. Величина этого газовыделения увеличивается с увеличением газоносности, газопроницаемости угля и газового давления. Максимальное газовыделение происходит сразу после вскрытия угольного пласта (5-50 л/мин с 1 м^2). Через 6-12 мес оно практически прекращается.

Время, прошедшее после вскрытия пласта, до момента прекращения газовыделения с его поверхности, называется периодом дренирования. В зоне дренирования метаноносность изменяется от некоторой минимальной величины, на кромке обнажения пласта, до метаноносности нетронутого массива на границе зоны. Выделение метана с обнаженной поверхности пласта зависит от интенсивности производственных процессов: зарубки, добычи угля и управления кровлей. Наиболее интенсивное газовыделение наблюдается при работе выемочного комбайна и при отбойке угля взрывным способом; при использовании отбойных молотков, заметного повышения метановыделения не наблюдается.

Суфлярное выделение метана – это выделение из больших, видимых на глаз трещин и пустот в угле и породах. Возможный дебит суфляра – до десятков тысяч м^3 в сутки, длительность действия – от нескольких часов до нескольких лет. Суфляры представляют опасность из-за неожиданного проявления и резкого

повышение концентрации метана в горной выработке. Кроме того, суфляр может быть одной из причин возникновения слоевого скопления метана. По происхождению, встречаются естественные и эксплуатационные. Естественные суфляры встречаются в зонах геологических нарушений, а эксплуатационные – в процессе выемки угля.

Профилактика суфлярных выделений метана ведется с помощью предварительной дегазации массива, усиления проветривания опасных выработок, каптажа газа. При каптаже, устье суфляра окружается герметическим киоском (например, из кирпича), а газ по трубопроводу идет на поверхность или в исходящую струю шахты (крыла шахты).

При *внезапных выбросах* в горные выработки за короткий промежуток времени выделяется большое количество метана и измельченного угля (породы). При этом в угольном пласте (массиве пород) образуются характерные полости. При выбросах выделяется от сотен до 50 тыс. м³ метана и более, количество угля – до нескольких тыс. т.

Внезапные выбросы, чаще всего, происходят при вскрытии опасных пластов, при пересечении зон геологических нарушений. Внезапные выбросы из пласта происходят на участках со сниженной прочностью угля и слабым контактом с вмещающими породами.

У внезапных выбросов есть предупредительные признаки: удары, толчки, гул в угольном массиве, осыпание и отслоение угля с поверхности пласта в забое, отжим угля, зажим бурового инструмента, «выдувание» угольного штыва при бурении, повышенное газовыделение. Выбросы могут возникнуть после сотрясений массива в ходе выемочных работ, при образовании зон повышенной концентрации напряжения (углы и уступы забоя). Таким образом, основные причины возникновения выбросов: горное давление, энергия газа в угле и физико-механические свойства угольного пласта.

Газовыделение из отбитого угля проявляется, в основном, в забое при отделении угля от массива и при погрузке на конвейер. Вместе с тем, при повышенной скорости движения забоя, концентрация метана растет по всей конвейерной цепочке. Основное выделение метана из отбитого угля происходит на протяжении часа после его отделения от массива. Через 10-12 часов газовыделение практически прекращается. Некоторое количество газа, которое осталось в угле, называют *остаточной газоносностью*. Для большинства углей она может составить 2-5 м³/т.

Газовыделение из отработанных пространств, происходит в призабойное пространство лав, в вентиляционные выработки выемочных участков и в любые выработки, которые примыкают к выработанным пространствам. Основные источники выделения метана в выработанные пространства – сближенные угольные пласты, целики угля, уголь оставленный в выработанном пространстве и т. п. Газовыделение из выработанного пространства, на любом участке вентиляционного штрека, определяется как разница количества газа в начале и конце этого участка. Его величина может увеличиться при резком падении барометрического давления. Это необходимо учитывать при ведении выемочных работ, ограничивая, на этот период, нагрузку на добычные механизмы.

В условиях пологих пластов метан поступает в выработанное пространство разрабатываемого пласта со всех лежащих выше угольных пластов, залегающих от разрабатываемого на расстоянии, равном не более 130-кратной вынимаемой мощности пласта при полном обрушении кровли и не более 55-кратной вынимаемой мощности при полной закладке. Расстояние до лежащих ниже пластов, отдающих метан, находится в пределах 35-60 м при пологом падении и не более 70-кратной вынимаемой мощности пласта при крутом.

Неравномерность газовыделения в шахте определяет коэффициент неравномерности. Его величина зависит от интенсивности выемочных работ, способа управления кровлей, длины выработки, источника газовыделения, изменения барометрического давления и величины абсолютного газовыделения. В целом, по шахте, значения этого коэффициента меньше, чем для отдельных участков.

2.5 Газовый баланс угольных шахт

Для правильной организации проветривания шахты необходимо знать ее газовый баланс. Он представляет собой сумму абсолютных метанообильностей всех источников метановыделения. Газовый баланс зависит от системы разработки, способа управления кровлей, объема выработанного пространства, развития очистных и подготовительных работ, свойств угля и вмещающих пород, горногеологических условий. В Донбассе, часть метановыделения из выработанных пространств составляет 25-35 %.

Газообильность характеризует степень опасности шахты по тому или иному газу, поступающему в рудничную атмосферу и изменяющему химический состав рудничного воздуха. Различают абсолютную и относительную газообильность.

Абсолютной газообильностью I ($\text{м}^3/\text{мин}$, $\text{м}^3/\text{сут}$) называют количество газа, выделяющегося в шахте в единицу времени.

Относительной газообильностью q ($\text{м}^3/\text{т}$) называется количество выделяющегося газа, отнесенное к единице массы добытого полезного ископаемого.

Относительная метанообильность устанавливается ежегодно в январе по результатам ежемесячных замеров метана в шахте. По относительной метанообильности и виду выделения метана шахты делятся на пять категорий:

Категория шахт по метану	Относительная газообильность шахты, $\text{м}^3/\text{т}$
I	до 5
II	от 5 до 10
III	от 10 до 15 и шахты, где были случаи местных (слоевых) скоплений, вспышек или взрывов метана
Сверхкатегорные	15 и более; шахты, опасные по суфлярным выделениям
Опасные по внезапным выбросам	шахты, в которых проводят работы на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, шахты с выбросами породы

Закрывающиеся шахты, на которых ведутся очистные и подготовительные работы, должны принадлежать к той самой категории по газу, что и в период эксплуатации. Газовые шахты, которые ликвидируются, на которых прекращена добыча угля, в зависимости от величины абсолютной метанообильности делятся на четыре категории:

Категория шахт по метану	Абсолютная газообильность, м ³ /мин
I	до 4
II	от 4 до 8
III	от 8 до 12
Сверхкатегорные	12 и более

Расход газа в месте замера в выработке определяется по формуле

$$I=0,01QC,$$

где Q – расход воздуха в пункте замера, м³/мин;

C – концентрация газа в воздухе, %.

Средний в течение месяца расход газа в пункте замера

$$\bar{I} = \frac{\sum I_i}{n},$$

где $\sum I_i$ – сумма расходов газа по результатам всех замеров, произведенных в данном пункте в течение месяца, м³/мин;

n – число определений I_i за месяц, принятых к расчету.

Если при определении дебита газа значение $I_i = 0$, то такие замеры в расчет не принимаются.

2.6 Управление метановыделением

Для обеспечения безопасных условий работы в газовых шахтах содержание метана в выработках должно быть значительно меньше нижнего предела взрывчатости метано-воздушной смеси, равного 5 %.

Управление метановыделением в шахте заключается в его перераспределении. Это достигается изменением схемы проветривания выемочного участка или разработкой специальных мероприятий, по управлению вентиляцией выработанных пространств.

В действующем «Руководстве по проектированию вентиляции...» представлены 52 схемы проветривания выемочных участков. Все они применяются в зависимости от конкретных горногеологических условий и принятой системы разработки. Для уменьшения метановыделения применяются разные способы дренирования метана из выработанного пространства, сближенных пластов и разрабатываемого пласта.

Недопустимые концентрации метана в горных выработках, на шахтах опасных по газу, определены Правилами безопасности и составляют:

- исходящая из тупиковой выработки, камеры, поддерживаемой выработки – более 1 %;
- исходящая из очистной выработки, выемочного участка при отсутствии АКМ – более 1 %;
- исходящая из очистной выработки, выемочного участка при наличии АКМ – более 1,3 %;

- исходящая крыла, шахты – 0,75 %;
- поступающая на выемочный участок, к очистным и подготовительным забоям и камерам – 0,5 %;
- местные и слоевые скопления метана – больше 2 %;
- на выходе из смесительных камер – больше 2 %;
- трубопроводы для изолированного отвода метана с помощью вентиляторов (эжекторов) – больше 3,5 %;
- дегазационные трубопроводы – от 3,5 до 25 %.

2.7 Мероприятия по борьбе с метаном в шахтах

На газовых шахтах применяется комплекс мер, направленный на предупреждение опасных скоплений метана, предупреждение воспламенений метана, ограничение последствий взрывов, предупреждение проявления суффляров и внезапных выбросов.

Эффективной считается такая вентиляция, при которой в рудничной атмосфере поддерживаются допустимые концентрации метана. Распределение воздуха по шахте определяется соответствующими расчетами и обеспечивается с помощью вентиляционных сооружений (вентиляционные двери, окна, проемы, кроссинги, и т. п.). Кроме того, необходимо предусматривать специальные мероприятия для предупреждения образования слоев метана под кровлей горных выработок. Длина таких слоев может составлять десятки метров. В выработке с нисходящим движением воздуха слой метана может двигаться навстречу воздуху. При угле падения пласта $>10^\circ$, движение воздуха в очистных забоях должно быть восходящим. На неопасных по внезапным выбросам пластах допускается и нисходящее проветривание при угле падения пласта $>10^\circ$ и скорости движения воздуха ≥ 1 м/с, крепь выработок (кроме прилегающих к очистным забоям) должна быть негорючей или трудногорючей при отсутствии электрооборудования и кабелей. Достаточно интенсивное перемешивание метана в забоях возможно лишь при скорости движения воздуха $\geq 0,25$ м/с.

Для обеспечения дополнительного перемешивания вентиляционного потока можно использовать специальные устройства (паруса, взвихривающие устройства) и вентиляторы местного проветривания.

В тех случаях, когда возможности вентиляции шахты, по снижению концентраций метана, исчерпаны, необходимо применять дегазацию. Все методы дегазации можно разделить на две группы: оперативная дегазация (применяемая в ходе выемочных работ) и предварительная – перед началом добычи угля. В первую группу можно включить дегазацию сближенных пластов, газоотсос из выработанных пространств, нагнетание воды в пласт. Способы предварительной дегазации содержат в себе подработку (надработку) сближенных пластов, проведение дегазационных выработок, бурение дегазационных скважин, гидрорасчленение пластов.

Дегазация сближенных пластов скважинами – один из первых способов, нашедших широкое применение на шахтах. Сущность его состоит в том, что из выработок разрабатываемого пласта (обычно из штреков) в направлении сближенных пластов бурятся скважины, через которые с помощью трубопроводов и вакуум-насосов отсасывается метан.

Высокая эффективность дегазации достигается при правильном заложении скважин. Скважины бурятся до подхода к ним очистного забоя. При этом они должны пересекать сближенный пласт в зоне его разгрузки от горного давления и при подвигании лавы не попадать в зону активного обрушения. Продолжительность периода целесообразного действия скважины достигает 10 мес. Содержание метана в отсасываемой из скважин метано-воздушной смеси находится в пределах 60-100 %, а ее максимальный дебит составляет 2-10 м³/мин.

Эффективность дегазации оценивается коэффициентом эффективности дегазации, равным отношению количества газа, извлеченного в процессе дегазации за данный период, к общему газовыделению за этот период.

3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ, ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ РУДНИЧНОЙ АЭРОЛОГИИ

3.1 Аэростатика

Аэростатика – наука о равновесии газов. Одной из основных ее задач, является определение изменения давления с высотой (глубиной) в неподвижном воздухе. Это давление, называется аэростатическим и представляет собой вес вышележащих слоев воздуха. При отсутствии движения воздуха, на него действует только сила тяжести.

В общем виде, основное уравнение аэростатики имеет следующий вид

$$dp = \rho g dz,$$

где ρ – плотность воздуха.

Давление воздуха (p), на глубине z при изохорическом процессе, можно определить по формуле

$$p = p_0 + \rho g z,$$

где p_0 – начальное давление;

а при изотермическом процессе по формуле

$$p = p_0 e^{\frac{z}{RT_0}}.$$

Давление в выработке не зависит от площади ее поперечного сечения.

Важным свойством воздушной среды является то, что давление в данной точке одинаково во всех направлениях и изменение давления, на поверхности земли приводит к изменению давления во всех точках среды. Это свойство называется *законом Паскаля*. В соответствии с ним, при изменении давления на поверхности земли на n единиц, во всех выработках шахты давление также изменится на n единиц.

Под атмосферным давлением в шахте понимается аэростатическое давление (сокращенно – статическое).

3.2 Аэродинамика

Полное давление движущегося воздуха (p) в каждой точке потока, состоит из статической ($p_{ст}$) и динамической ($p_{дин}$) составляющих. Закон Бернулли показывает, что сумма статического и динамического давлений неизменна для всех точек лежащих на одной линии в одном сечении потока воздуха. Статическое давление на стенке канала, по которому движется воздух, там, где скорость потока равняется нулю ($V=0$), равно полному давлению в потоке. Статическое давление характеризует потенциальную энергию потока воздуха, а динамическое или скоростное давление – кинетическую энергию движущегося воздуха.

$$p = p_{ст} + p_{дин} = const.$$

Динамическое давление изменяется в перерезном сечении выработки, поскольку оно напрямую связано со скоростью движения воздуха формулой

$$p_{дин} = \frac{\rho V^2}{2},$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Скорость движения воздуха имеет максимальное значение в центре сечения выработки и уменьшается по мере приближения к стенке (кровле или почве) выработки. В гладкостенном канале, на стенке она равна нулю.

Положение максимального значения скорости потока зависит от шероховатости поверхности выработки. Область максимума смещается к менее шероховатой поверхности (например, к почве).

Закон сохранения движущейся массы определяет, что масса любого объема воздуха остается постоянной в процессе его движения. Другими словами, изменение массы во времени равняется нулю.

Для элементарного потока, между двумя его сечениями можно записать (если считать, что плотность воздуха по пути его движения неизменна)

$$V_1 S_1 = V_2 S_2,$$

где S_1, S_2 – площади начального и конечного сечений элементарного потока; V_1, V_2 – скорости движения воздуха через эти сечения.

Для расхода воздуха по всему сечению:

$$Q_1 = Q_2.$$

Для массового расхода (неизотермический поток):

$$M_1 = M_2.$$

Депрессия (h_o) горной выработки (разница статического давления между началом и концом выработки в движущемся воздухе) определяется с помощью уравнения

$$(p_1 - p_2) - z_c g(\rho_1 \pm \rho_2)/2 = h_o,$$

где p_1, p_2 – соответственно, статическое давление воздуха в начале и в конце выработки; z_c – высота столба воздуха между началом и концом выработки (для наклонной или вертикальной выработки); ρ_1, ρ_2 – плотность воздуха в начале и в конце выработки.

Величина в первых скобках – разница статических давлений между началом и концом выработки, измеренная на почве выработки (там, где скорость движения воздуха равняется нулю). Во вторых скобках – статическое давление столба воздуха между началом и концом выработки (плотность воздуха в столбе определяется как средняя между начальной и конечной). Для горизонтальной выработки – $z_c = 0$.

Величина $(p_1 - p_2)$ появляется в результате совместной работы вентилятора и естественной тяги (h_e). Естественная тяга возникает при разной плотности воздуха в двух столбах воздуха. Ее величину (h_e) можно посчитать как разницу давлений $z_c g(\rho_{cp1} \pm \rho_{cp2})$ двух столбов воздуха одинаковой высоты с разной средней плотностью (ρ_{cp1}, ρ_{cp2}). Считаем, что работа вентиляторов главного проветривания не влияет на плотность шахтного воздуха. Естественная тяга формируется естественным фактором – например, температурой пород.

Для упрощенной шахты с двумя стволами (открытый контур без канала вентилятора и пути внешних подсосов) можно записать, что депрессия шахты равняется сумме депрессии вентилятора, которая приходится на шахту ($h_{в.ш.}$) и естественной тяги, которая формируется в шахтных стволах ($h_{e.c}$)

$$h_{в.ш.} \pm h_{e.c} = h_{ш.}$$

Из этого уравнения следует общая формулировка закона сохранения энергии при движении воздуха по выработкам шахтной сети: при устоявшемся движении воздуха по выработкам, энергия (статическая депрессия) от внешних и внутренних источников тяги, полностью тратится на преодоление сопротивления пути движения воздуха.

Полная статическая депрессия вентилятора ($h_{e.n.}$) определяется как сумма депрессии сети вентилятора со стороны всасывания ($h_{e.в.}$) и стороны нагнетания (депрессия диффузора – h_{δ}) вентиляторной установки

$$h_{e.n.} = h_{e.в.} \pm h_{\delta}.$$

Действие естественной тяги может совпадать или противодействовать работе вентилятора главного проветривания ($\pm h_e$).

3.3 Режимы движения воздуха

Спокойное движение воздуха по любому каналу без перемешивания между отдельными слоями потока, называется ламинарным. Бурное движение воздуха, которое характеризуется перемешиванием между отдельными слоями потока, называется турбулентным. Основное различие между этими видами движения заключается в том, что во время ламинарного движения, обмен между слоями потока происходит на молекулярном уровне, а при турбулентном – происходит обмен объемами.

Режим движения воздуха в канале (выработке) определяет специальный критерий – число Рэйнольдса (Re)

$$Re = \frac{4V_{cp}S}{P\nu},$$

где V_{cp} – средняя скорость движения воздуха в выработке, м/с;

S – площадь поперечного сечения выработки, м²;

P – периметр выработки, м;

ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Для шахтных выработок критическое значение числа Рейнольдса равняется 1000-1500. Минимальная скорость воздуха, при которой движение воздуха еще остается турбулентным, равняется 0,006-0,01 м/с. Поэтому, в горных выработках, проветриваемых активной вентиляционной струей, движение воздуха, как правило, турбулентное.

Все воздушные потоки в выработках можно разделить на два типа: ограниченные (с твердыми границами) и свободные (свободные струи), которые не имеют твердых границ. В горных выработках твердыми границами являются стенки выработок. Свободные струи образуются при выходе ограниченного потока в неограниченное (достаточно большое) пространство. Например, выход потока в камеру большого сечения или из трубопровода в выработку. Если на каком-то участке свободная струя сталкивается с твердой поверхностью и не получает полного развития, она называется неполной. Дальнобойность турбулентной струи определяется по формуле В.Н. Воронина

$$l = 0,5\sqrt{S}(1 + 0,5\alpha),$$

где S – площадь поперечного сечения выработки, м²;

$\alpha=0,06-0,08$ – коэффициент структуры струи.

4. АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Закон сопротивления в рудничной вентиляции описывает связь между потерей давления и расходом воздуха в горной выработке. Эта зависимость определена экспериментально и, в общем случае, имеет вид

$$h = R Q^n.$$

Величина показателя степени определяет тип движения воздуха – ламинарный или турбулентный. При ламинарном, показатель степени равняется 1, а при турбулентном – 2. В некоторых случаях возможны промежуточные значения. При фильтрационном просачивании воздуха через трещины в массиве обрушенных породы, величина показателя меняется от 1 до 2.

При движении по горным выработкам воздух может преодолевать три вида сопротивлений:

- сопротивление трения о стенки выработок;
- лобовые сопротивления;
- местные сопротивления.

Сопротивление трения о стенки выработки. В горных выработках основное сопротивление движению воздуха оказывает крепь. Формула, которая связывает потери давления в выработке (трубопроводе) с расходом воздуха и геометрическими размерами выработки имеет следующий вид

$$h = \frac{\beta \rho}{2} \frac{LP}{S^3} Q^2,$$

где β – безразмерный коэффициент трения, который зависит от шероховатости стенок выработки;

P, L, S – периметр, длина и площадь сечения выработки, соответственно.

Величины β и ρ объединяют в один коэффициент, названный коэффициентом сопротивления трения

$$\alpha = \frac{\beta \rho}{2}.$$

С учетом этого уравнения, формула для расчета депрессии, приобретает следующий вид

$$h = \alpha \frac{LP}{S^3} Q^2.$$

Величина

$$R = \alpha \frac{LP}{S^3}$$

называется аэродинамическим сопротивлением трения, Па с²/м⁶.

Поскольку на шероховатость стенок горной выработки влияют элементы крепления выработки, то ее величина зависит от расположения этих элементов, то есть от их продольной плотности. Влияние продольной плотности элементов крепления характеризуется продольным калибром крепления, который определяется по формуле

$$\Delta = l/k,$$

где l – расстояние между осями соседних элементов крепи;

k – высота выступов шероховатости.

Местные сопротивления. К местным сопротивлениям относятся повороты, внезапные расширения или сужения горных выработок, вентиляционные окна,

разветвления выработок, кроссинги, каналы вентиляторов и тому подобное (рис. 4.1), т.е. все, что вызывает резкие изменения формы, размеров и направления внешних границ потока. Для местных сопротивлений характерным является срыв струи с твердых границ потока под действием сил инерции воздуха с образованием свободной струи. В результате область между свободной границей потока и поверхностью выработки, называемая застойной (мертвой), заполняется присоединенными воздушными массами, находящимися во вращательном движении.

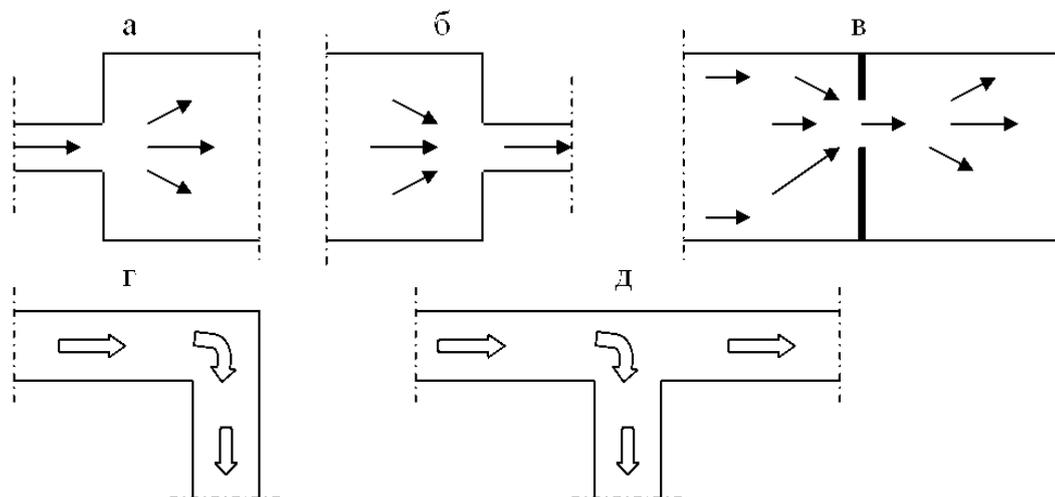


Рис. 4.1 – Местные сопротивления в горных выработках

Депрессия местного сопротивления ($h_{м.с}$) определяется как часть скоростной энергии (скоростной напор) потраченной на преодоление сопротивления

$$h_{м.с} = \xi \frac{V^2 \rho}{2},$$

где ξ (*кси*) – безразмерный коэффициент местного сопротивления;
 V – скорость воздуха до или после местного сопротивления.

Как видно из данного выражения, чем больше скорость, тем больше $h_{м.с}$.

Величина ξ определяется опытным путем. Так, например, установлено, что коэффициент местного сопротивления внезапного расширения больше, чем для сужения в 1,47 раза.

В упрощенном виде формула для определения величины местного сопротивления (при известной величине ξ) имеет следующий вид

$$R = \xi \rho / 2S^2.$$

Величина площади сечения (S) выработки определяется в месте соответствующего измерения скорости.

Величины местных сопротивлений разных соединений выработок рассчитываются по формулам, полученным в гидравлике. Так, например, для «тройников» (с прямоугольными кромками), при делении основной струи на два или три разветвления, величина коэффициента местного сопротивления изменяется от 2 до 3,6. Величина сложных местных сопротивлений (поворот с одновременным изменением сечения, двойные повороты, кроссинги и тому подобное) определяется, как сумма простых сопротивлений, с учетом их коэффициентов местного сопротивления.

Для уменьшения местных сопротивлений необходимо скруглять повороты и кромки сопряжений, организовывать плавный переход от одного сечения к другому.

Лобовое сопротивление. Это сопротивление, оказываемое потоку находящимся в нем телом (вагонетка, стойка усиления крепления, армировка ствола). Потеря депрессии на обтекание тела произвольной формы, поставленное поперек потока воздуха, пропорциональна скоростному напору, так называемому миделеву сечению тела $S_{мид}$ (наибольшее сечение тела в плоскости, перпендикулярной воздушному потоку) и некоторому коэффициенту c , который зависит от формы тела. Этот коэффициент безразмерный и определяется опытным путем. Его называют коэффициентом лобового сопротивления. Экспериментально установлено, что при турбулентном движении воздуха, его величина не зависит от скорости потока. Потерю депрессии на лобовое сопротивление, в общем виде, выражает следующее уравнение:

$$h_{л.с} = \frac{cV^2\rho}{2} \frac{S_{мид}}{S - S_{мид}}.$$

Величину лобового сопротивления определяет формула

$$R_{л.с} = \frac{\rho}{2} \frac{cS_{мид}}{(S - S_{мид})^2}.$$

Потери депрессии (энергии) на преодоление лобового сопротивления вызваны, в основном, возникновением вихря за обтекаемым телом.

5. ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СЕТИ

Совокупность всех путей, по которым движется воздух, называется шахтной вентиляционной сетью. Совокупность горных выработок, вентиляционных сооружений, и устройств для распределения воздуха, вентиляторов главного и местного проветривания называется шахтной вентиляционной системой.

На шахтах, для изображения путей движения воздуха, построения маршрутов движения людей, трубопроводов, транспортных цепочек, и так далее, используются схемы вентиляции шахт, схемы вентиляционных соединений, и планы горных работ.

Схемы вентиляции отражают взаимное безмасштабное расположение горных выработок. Единственный критерий расположения – удобство восприятия. Схемы вентиляционных соединений показывают безмасштабное соединение элементов (ветви-выработки) вентиляционной сети. Их назначение – это графическое представление связей всех элементов шахтной схемы вентиляции на бумаге. На планах горных работ взаимное расположение горных выработок представляется в масштабе, с учетом их положения во времени.

На схемах вентиляционных соединений в виде узла показывают соединение (сопряжение) трех (двух) и более выработок. Выработки, которые соединяют два узла, называются ветвями. В то же время, отдельные ветви могут вмещать несколько выработок соединенных последовательно.

Часть схемы, ограниченная неповторяющимися ветвями, которая не имеет внутри других ветвей, называется элементарным вентиляционным контуром или ячейкой (рис. 5.1). Ветви (1-2, 2-3, 3-4, 1-4), ограничивающие ячейку, являются элементами этого вентиляционного контура. Внутри ячейки другие ветви отсутствуют.

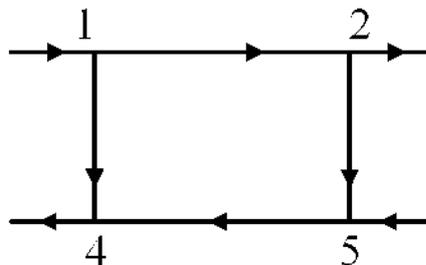


Рис. 5.1 – Элементарный вентиляционный контур

5.1 Виды простых вентиляционных соединений горных выработок

В зависимости от взаимного расположения выработок различают следующие виды соединений: последовательное, параллельное, диагональное и звезда [11].

Последовательное соединение. Соединение выработок без разветвлений называется последовательным. Например, выемочный участок состоит из конвейерного штрека (1-2), лавы (2-3) и вентиляционного штрека, 3-4 (рис. 5.2).

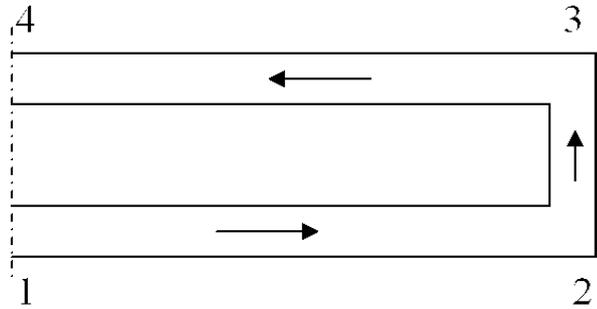


Рис. 5.2 – Упрощена схема выемочного участка

Депрессия последовательного соединения определяется, как сумма депрессий ветвей, которые входят у него. Например, для схемы на рис. 5.2, общее сопротивление последовательного соединения выработок равняется их сумме

$$R = R_{1-2} + R_{2-3} + R_{3-4}. \quad (5.1)$$

Расход воздуха во всех выработках одинаков ($Q = Q_{1-2} = Q_{2-3} = Q_{3-4}$).

Тогда, умножив все члены уравнения (5.1) на Q_2 , получим

$$R Q^2 = R_{1-2} Q_{1-2}^2 + R_{2-3} Q_{2-3}^2 + R_{3-4} Q_{3-4}^2.$$

или

$$h = h_{1-2} + h_{2-3} + h_{3-4}.$$

Параллельное соединение. Параллельным соединением выработок называется такое соединение, когда выработки связаны между собой только в двух общих узлах-сопряжениях. Пример простого параллельного соединения показан на рис. 5.3. В параллельном соединении разница давлений (депрессия) в узлах для всех ветвей одинаковая. Для схемы, представленной на рис. 5.3, можно записать, что общая депрессия параллельного соединения равна депрессии каждой из его ветвей

$$h = h_A = h_B. \quad (5.2)$$

Общий расход воздуха в параллельном соединении равен сумме расходов в отдельных ветвях

$$Q = Q_A + Q_B. \quad (5.3)$$

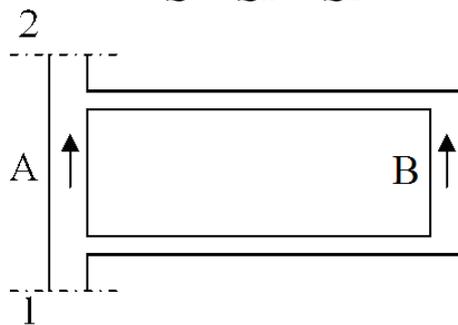


Рис. 5.3 – Простое параллельное соединение

Подставляя вместо расходов воздуха, в уравнении (5.3) соотношение $\sqrt{\frac{h}{R}}$, с учетом (5.2), можно записать формулу для определения общего сопротивления параллельного соединения

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_A}} + \frac{1}{\sqrt{R_B}},$$

или в общем виде

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \right)^2}.$$

В частном случае, когда $R_1=R_2=\dots=R_n$, можно записать

$$R = \frac{R_n}{n^2}.$$

Расход воздуха в одной из ветвей (Q_1) параллельного соединения (из двух ветвей), можно определить через общий расход воздуха

$$Q_1 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}}.$$

Распределение воздуха, в ветвях параллельного соединения, происходит обратно пропорционально квадратному корню из отношения сопротивлений ветвей.

Диагональные соединения. Простое (закрытое) диагональное соединение можно рассматривать, условно, как параллельное соединение двух выработок, связанных между собой выработкой-диагональю (рис. 5.4, участок BC). При этом ветвь, входящая в узел A и выходящая из узла D, не являются частями диагонального соединения. Входить в узел A и выходить из узла D может любое количество ветвей. Такое соединение встречается крайне редко. В вентиляционной сети шахты такой вид соединения может вообще отсутствовать.

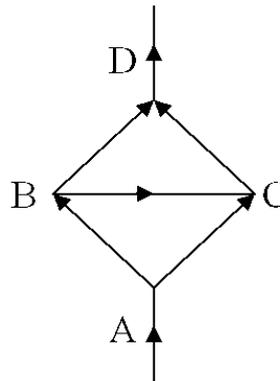


Рис. 5.4 – Схема простого диагонального соединения

Основным свойством диагонального соединения является то, что движение воздуха в ветви-диагонали не зависит от ее аэродинамического сопротивления. Так, например, воздух будет двигаться из узла B в узел C, если выполняется условие

$$\frac{R_{AB}}{R_{BD}} < \frac{R_{AC}}{R_{CD}}.$$

В противоположном случае, воздух будет двигаться из узла C в узел B. При равенстве этих отношений расход воздуха в диагонали равен нулю ($Q_{BC}=0$).

Депрессия диагонального соединения равна сумме депрессий выработок, которые последовательно примыкают друг к другу

$$h = h_{AC} + h_{CD} = h_{AB} + h_{BD} = h_{AB} + h_{BC} + h_{CD}.$$

Общее сопротивление диагонального соединения определяет формула

$$R = h / Q^2,$$

где Q – расход воздуха, который проходит через диагональное соединение.

В вентиляционных сетях наиболее распространены следующие разновидности диагональных соединений: полуоткрытое, полузакрытое, открытое [11] (рис. 5.5). Главным признаком диагональных соединений открытого типа является то, что выработка-диагональ связывает две параллельные выработки с одинаковым направлением движения воздуха. В противном случае (противонаправленное движение), эта выработка не будет являться диагональю.

Расчет воздуха в ветвях диагонального соединения определяется по приближенным формулам с использованием уравнения гиперболы.

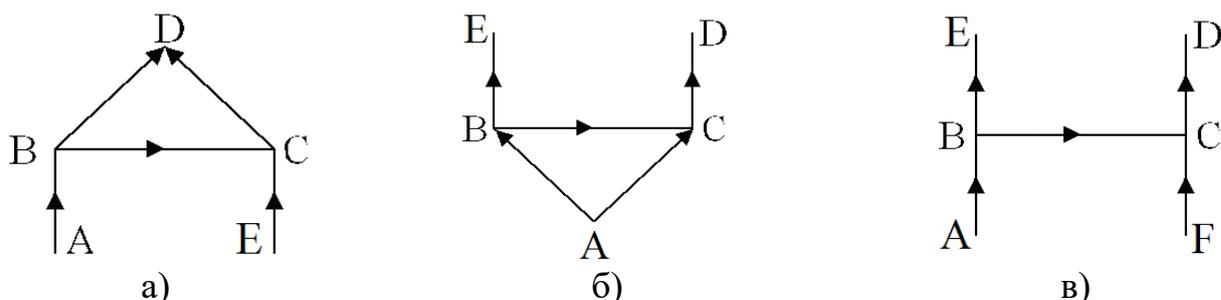


Рис. 5.5 – Схемы диагональных соединений: а) полуоткрытое, б) полузакрытое, в) открытое

Соединение типа «звезда». Это самый распространенный тип соединений. Такое вентиляционное соединение образуется тремя и более ветвями, имеющими один общий узел. Наиболее распространены соединения из трех, четырех, реже – пяти ветвей (рис. 5.6). Вентиляционные сети метрополитенов могут включать в себя такие соединения из девяти ветвей (*станция с переходами на станции других линий и эскалаторными подъемами.*).

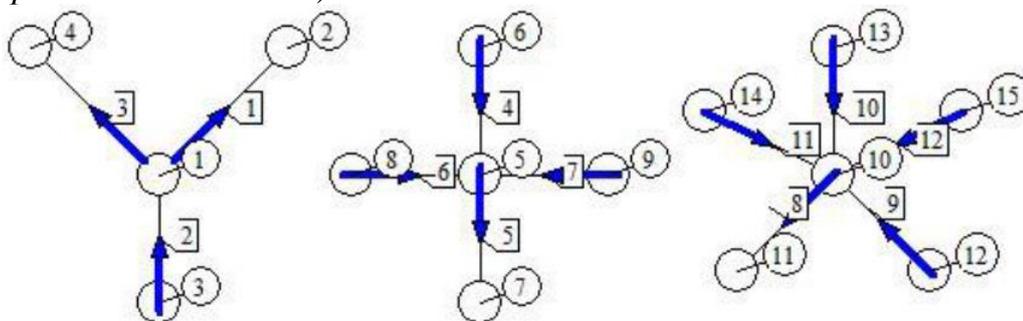


Рис. 5.6 – Схемы вентиляционных соединений типа «звезда»

Соединение типа «звезда» с тремя ветвями называют тройник или клешня. Оно в свою очередь, может быть двух типов: когда в центральный узел входит одна ветвь и две выходят и наоборот – две ветви входят и одна выходит.

Если ветвей четыре, то это крестовина. Она в свою очередь, может быть трех типов: когда в центральный узел входит одна ветвь, две или три. Остальные, соответственно, выходят из центрального узла.

Диагональное соединение всегда содержит в себе соединения типа «звезда», однако соединения типа «звезда» не всегда являются частью диагонального соединения (рис. 5.7).

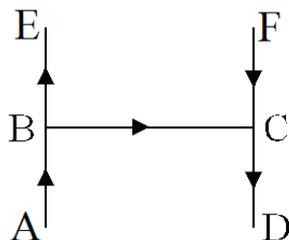


Рис. 5.7 – Схема вентиляционных соединений

В данном случае, на рис. 5.7 представлен фрагмент схемы вентиляционных соединений, состоящий из двух тройников, имеющих общую ветвь (BC), но данная ветвь не будет являться диагональю.

Сложные (комбинированные) вентиляционные соединения могут содержать в себе комбинации разных видов вентиляционных соединений.

5.2 Законы распределения воздуха в вентиляционных сетях

Распределение воздуха в горных выработках происходит в соответствии с законами Кирхгоффа. Первый закон сетей, в общем виде, означает, что сумма расходов воздуха в узле равна нулю

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0.$$

Иными словами, сумма расходов воздуха, которые поступают в узел, равна сумме расходов воздуха выходящих из него.

Второй закон сетей показывает, что сумма депрессий ветвей в вентиляционном контуре равняется нулю

$$\sum_{j=1}^m h_j = 0.$$

Для суммирования депрессий ветвей в вентиляционном контуре, необходимо определить (принять), какое-то направление «обхода» контура. И, если, направление обхода контура совпадает с направлением движения воздуха в ветви, то величина депрессии берется со знаком «+», а если противоположно, то со знаком «-». Данный закон выполняется при отсутствии в ветвях источников тяги (энергии) и при условии, что депрессия сопряжений выработок учитывается в депрессии ветвей.

Помимо законов, в вентиляционных сетях действуют правила [11]. Они касаются распределения воздуха относительно одной ветви и относительно одного вентиляционного контура.

Первое правило: сумма расходов воздуха, входящего в узлы отдельной ветви, равна сумме расходов воздуха, выходящего из узлов этой же ветви. Например, во 2 узел ветви 2 (рис. 5.8) воздух входит по ветви 1, а в узел 3 этой же ветви – по ветви 5. Соответственно, по ветвям 3 и 4, воздух выходит из узлов 2 и 3. Расход воздуха в ветви 2 не учитывается, потому что это один и тот же воздух (одновременно и выходит из узла 2 и входит в узел 3). Соотношение расхода воздуха в ветвях, которые связаны с ветвью 2, будет следующим

$$Q_1 + Q_5 = Q_3 + Q_4.$$

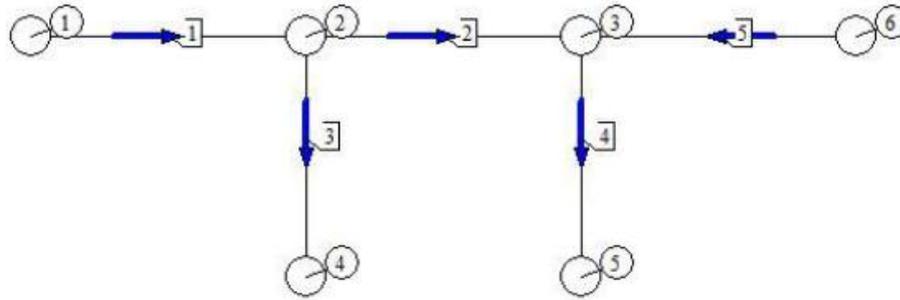


Рис. 5.8 – Схема вентиляционного соединения

В общем виде уравнения первого правила сети имеет вид

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{j=1}^m Q_j,$$

$\sum_{i=1}^n Q_i$ – сумма всех (n) расходов воздуха, входящих в узлы отдельной ветви;

$\sum_{j=1}^m Q_j$ – сумма всех (m) расходов воздуха, выходящих из узлов этой же ветви.

Второе правило: сумма расходов воздуха, входящего в вентиляционный контур, равна сумме расходов воздуха, выходящего из этого вентиляционного контура. Например, в вентиляционный контур 16-17-18-19-16 (рис. 5.9) воздух входит по трем ветвям (19, 20, 21), а выходит по двум ветвям (17, 18). Тогда, в соответствии с правилом сети, имеем следующее

$$Q_{19} + Q_{20} + Q_{21} = Q_{17} + Q_{18}.$$

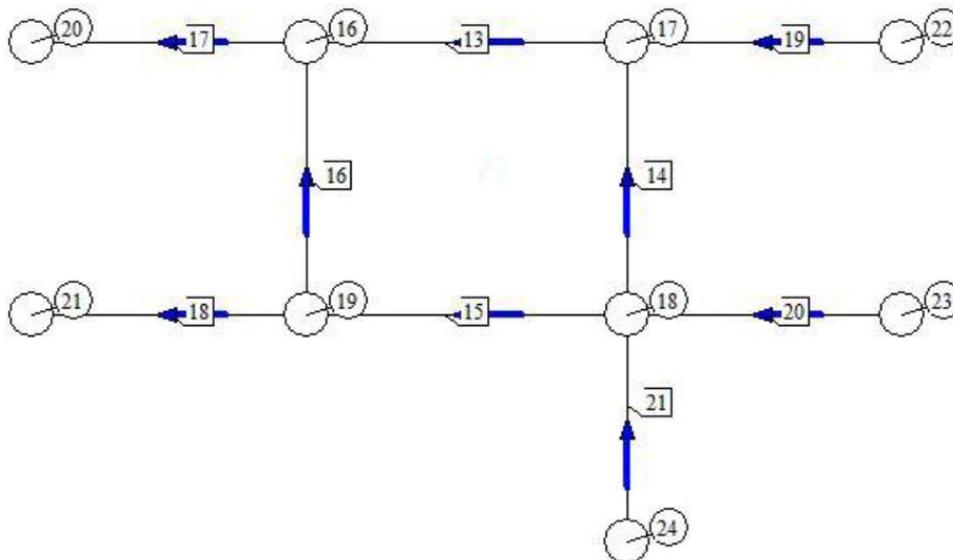


Рис. 5.9 – Схема соединений вентиляционного контура

Вентиляционным контуром может являться вся вентиляционная сеть шахты. Таким образом, сколько воздуха поступает в шахту, столько же и выходит из нее.

6. ЕСТЕСТВЕННАЯ ТЯГА

6.1 Общие понятия

Эффект естественной тяги проявляется из-за разницы давлений воздуха (аэростатических давлений) в вертикальных и наклонных горных выработках. Депрессия естественной тяги, для схемы на рис. 6.1, представляет собой разницу аэростатических давлений в пунктах 2 и 3.

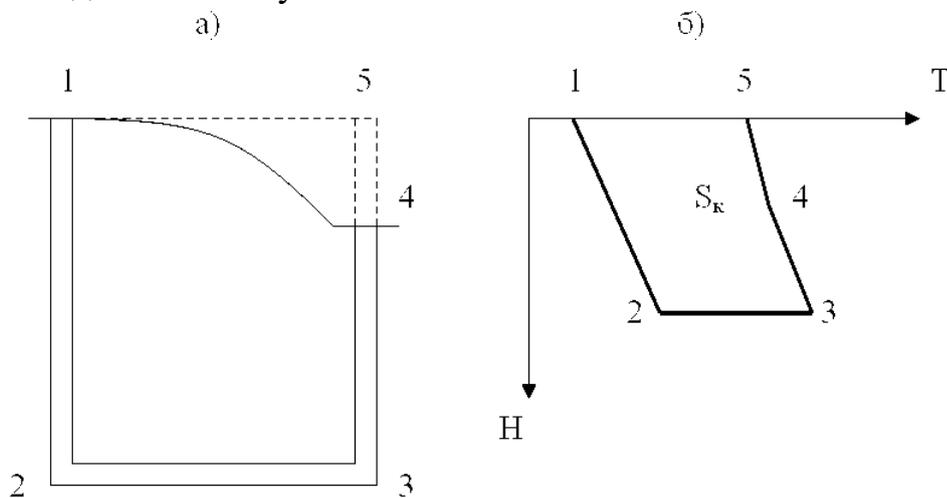


Рис. 6.1 – Схема горных выработок с естественной тягой

Разница давлений в пунктах 2 и 3 возникнет, если средние показатели плотности воздуха в этих столбах будут разными, например $\rho_1 > \rho_2$. Тогда

$$h_e = (\rho_1 - \rho_2) H,$$

где H – вертикальная высота столбов воздуха (1-2 и 5-4-3).

Величина естественной тяги может быть определена термодинамическим методом, предложенным А.Ф. Воропаевым. Для этого строится диаграмма (рис. 6б) в координатах: геодезическая высота (м) – температура (град). Депрессия естественной тяги определится по формуле

$$h_e = \frac{S_e}{T_{\bar{o}}} \rho_{\bar{n}\bar{d}},$$

где ρ_{cp} – плотность объемной единицы воздуха;

S_k – площадь фигуры;

$T_{\bar{o}}$ – абсолютная температура в центре массы фигуры.

Подсчет h_e для действующих шахт выполняется по данным о фактических температурах, измеренных в шахте. При проектировании шахты, температура на поверхности принимается по данным наблюдений для конкретного региона, а в горных выработках, определяется специальным расчетом по известным закономерностям, характерным для данного региона.

Для шахт, которые ведут горные работы на нескольких горизонтах, характерным является наличие естественной тяги на каждом горизонте.

Основная причина изменения плотности воздуха в вертикальных и наклонных выработках шахт, это изменение температуры воздуха в выработках, с поступающей и исходящей струей воздуха. На шахтах глубиной до 400 м, в теплое время года, вес столба воздуха в стволах, с поступающей вентиляционной струей, может быть меньше, чем в стволах с исходящей вентиляционной струей. В этом случае, при работе вентилятора (-ров) на всасывание, естественная тяга может

противодействовать работе вентилятора – «отрицательная» естественная тяга. В холодное время года, естественная тяга, как правило, «положительная», то есть направление ее действия совпадает с направлением движения воздуха, за счет действия вентиляторов. Следует отметить, что в практике эксплуатации угольных шахт известны случаи, когда в отдельных горных выработках, происходило опрокидывание вентиляционной струи, из-за действия естественной тяги. Это возможно в вертикальных и наклонных горных выработках с интенсивным тепловыделением (конвейер, трубопровод сжатого воздуха).

В общем случае, можно считать, что на глубоких шахтах (со стволами глубиной более 600 м), действие естественной тяги, в холодное время года, увеличивает количество воздуха, поступающего в шахту, а в теплое – уменьшает.

Величина естественной тяги, на шахтах со стволами глубиной более 1000 м, может составлять, в холодное время года, 100-120 даПа и более.

Схемы вентиляции современных шахт содержат в себе вертикальные, наклонные и горизонтальные выработки. В этих условиях, определить величину депрессии естественной тяги измерением, практически невозможно. Это обуславливается наличием нескольких вентиляционных контуров, в которых она формируется. Действие естественной тяги, в отдельном вентиляционном контуре, можно рассматривать как действие точечного источника тяги (условные вентиляторы, с горизонтальной рабочей характеристикой, депрессия которых эквивалентна величине депрессии естественной тяги). При работающем вентиляторе главного проветривания (ВГП), воздух в шахту будет поступать за счет суммарного действия всех этих условных вентиляторов и ВГП.

В общем случае, для угольных шахт, можно выделить три основные группы выработок, в которых формируется естественная тяга. Это стволы, наклонные выработки выемочных полей и выемочные участки. В принципе, можно представить себе вентиляционную сеть с тремя последовательно расположенными источниками тяги (условными вентиляторами), однако, в реальных условиях, количество вентиляционных контуров с естественной тягой, может составлять несколько десятков и выделить влияние каждого из них на проветривание шахты, практически, невозможно. В связи с вышеизложенным, большинство описанных способов определения общей шахтной естественной тяги измерением, можно рассматривать только как учебные, то есть, те, которые демонстрируют особенности этого физического явления, на примере элементарных схем вентиляции.

В условиях реальных шахт, величину естественной тяги, в отдельных частях шахты (стволы, наклонные выработки, выемочные участки), с достаточной для практических целей точностью, можно определить с помощью микроманометра и резиновой трубки. Однако, в этом случае, резиновая трубка должна быть проложена во всей подземной части шахты (для схемы на рис. 6.2, по маршруту 1-2-3-4). Использование барометров или полуэмпирического метода, основанного на измерениях при работающем и остановленном вентиляторе, дает большую погрешность.

Для расчета естественной тяги необходимо знать средние температуры воздуха, который входит и выходит по стволам. Причем, в верхней части воздухоподающего ствола она равна температуре на поверхности (или ниже

калорифера), а в других частях температуру можно определить по приближенным зависимостям.

6.2 Влияние естественной тяги на проветривание шахты

На шахтах с глубокими стволами, общешахтная естественная тяга, в течение года совпадает с работой вентилятора, хотя часть ее, что формируется в контуре стволов, уменьшается. С практической точки зрения, действие естественной тяги в холодное время года, можно рассматривать, как своеобразный резерв в обеспечении шахты воздухом. В то же время, необходимо учитывать, что при низких температурах воздуха на поверхности, для подогрева воздуха используются калориферы и, в отдельных случаях (при сильных морозах), поступление воздуха в стволы ограничивают, закрывая ляды в устьях стволов с поступающей струей. Таким образом, в реальных условиях глубоких шахт, значительного изменения режима проветривания горных выработок, не происходит.

Особенного внимания заслуживает влияние естественной тяги на проветривание шахты, в переходный период: осень-зима и весна-лето, когда подогрева воздуха еще нет или уже нет. Главная особенность этих периодов заключается в больших перепадах температуры воздуха на поверхности, в течение суток (днем воздух может прогреться к $+10-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а ночью температура падает до $-5-10\text{ }^{\circ}\text{C}$), и, как следствие, – в суточных изменениях величины депрессии естественной тяги в 2-3 раза. На шахтах с глубокими стволами (более 600 м), при этом возможны колебания расходов воздуха в горных выработках, в пределах 10-25 %. На газовой шахте такие колебания режима проветривания могут привести к изменению газового режима горных выработок и возникновению аварийной ситуации.

Влияние естественной тяги на режим проветривания горных выработок, шахты, в целом и на режим работы вентилятора (-ров) оценивается неоднозначно. Существующая практика соотношения величины депрессии естественной тяги и депрессии вентилятора главного проветривания, не совсем корректна. Это проявляется, в первую очередь, в том, что вентилятор, как источник тяги, расположен за пределами вентиляционной сети (внешний вентиляционный контур), а естественная тяга, рассматриваемая как некоторый набор условных вентиляторов, «расположена» внутри вентиляционной сети. Рассмотрим это положение на примере упрощенной схемы шахты (рис. 6.2), в которой естественная тяга действует только в контуре шахтных стволов (1-2-3-4). Для вентилятора, сопротивление сети представляет собой последовательное соединение канала вентилятора ($R_{4.6}$) и параллельного соединения ветвей 1-4 (сопротивление шахты $R_{ш}$), и 5-4 (внешних утечек – R_y). Относительно естественной тяги (представим себе, что вентилятор главного проветривания остановлен), вентиляционная сеть имеет другое сопротивление, потому что состоит из последовательно соединенных ветвей 1-4 и параллельного соединения ветвей 5-4 и 4-6. Для естественной тяги, канал вентилятора и вентилятор является ветвями параллельного соединения – 4-5(6). Для определения величины сопротивления этого соединения необходимо вычислить сопротивление устья ствола (4-5) и канала с остановленным вентилятором (4-6).

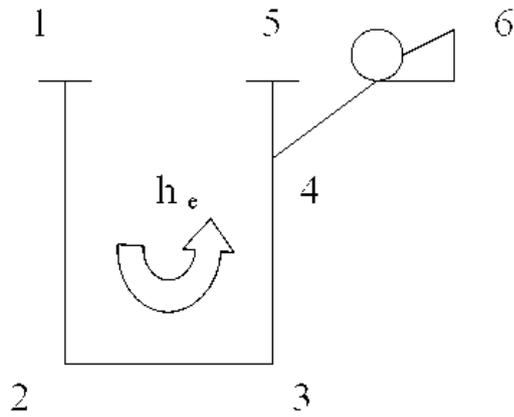


Рис. 6.2 – Упрощенная схема шахты

Для оценки влияния естественной тяги стволов на режим работы вентилятора, используем графический метод. Допустим, характеристика вентилятора описывается кривой 1-1 (рис. 6.3). Вычитаем из нее по ординатам характеристику канала (R_k) и получаем характеристику (2-2). Из полученной характеристики (2-2) вычитаем по абсциссам характеристику внешних утечек воздуха (R_y) и получаем характеристику вентилятора, приведенную к шахте (3-3). Режим проветривания шахты определяет точка c пересечения аэродинамической (R_{uu}) и приведенной характеристики (3-3). Режим работы ВГП – координаты точки a .

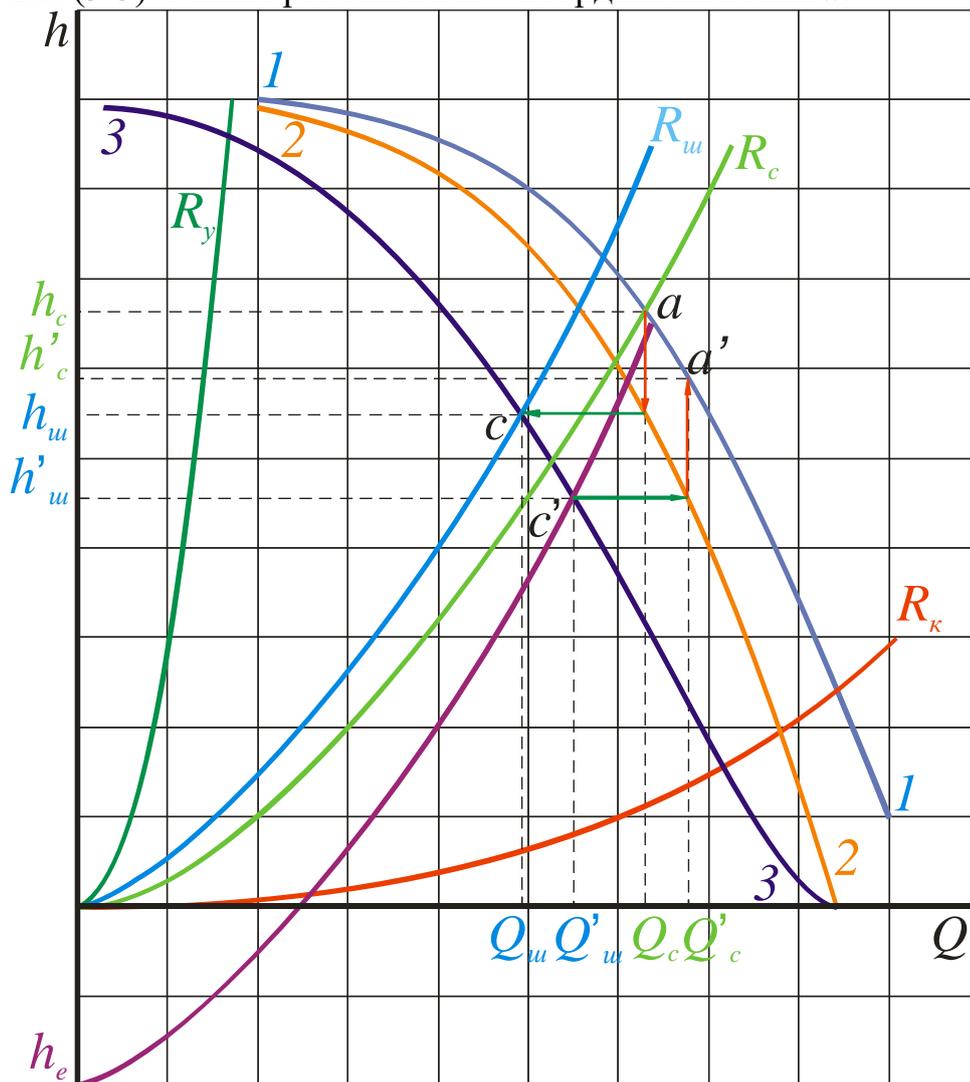


Рис. 6.3 – Определение режима проветривания шахты

Режим проветривания шахты, при совместном действии естественной тяги (положительная естественная тяга) и ВГП определяют координаты точки c' ($h'_{ш}$, $Q'_{ш}$). Естественная тяга замещает действие вентилятора в шахте ($h_{ш} - h'_{ш}$) и увеличивает расход воздуха ($Q'_{ш} > Q_{ш}$). Влияние естественной тяги на режим работы ВГП, определяют координаты точки a' на характеристике вентилятора.

Анализ действия естественной тяги в стволах, показывает, что режим проветривания шахты изменяется в большей мере, чем режим работы ВГП:

$$h_{ш} - h'_{ш} > h_c - h'_c$$

и

$$Q'_{ш} - Q_{ш} > Q'_c - Q_c.$$

Это значит, что, по изменению режима работы ВГП, нельзя судить о величине естественной тяги, действующей в стволах и всей вентиляционной сети. Кроме того, можно считать, что, в реальных вентиляционных сетях, на режим вентиляции шахты и режим работы вентилятора в большей мере влияет естественная тяга, которая формируется в стволах.

Вышеприведенное позволяет утверждать, что, на шахте, с глубокими стволами, при определении сопротивления вентиляционной сети, следует сначала определить сопротивление шахтной сети, а затем – сопротивление всей сети, на которую работает вентилятор.

7. РАБОТА ВЕНТИЛЯТОРОВ НА ШАХТНУЮ ВЕНТИЛЯЦИОННУЮ СЕТЬ

7.1 Виды вентиляторов

Вентиляторы, которые используются для проветривания угольных шахт и отдельных выработок, бывают двух типов: осевые и центробежные. Они отличаются, в основном, устройством рабочего колеса, направлением движения воздуха (в середине вентилятора) и видом рабочей характеристики. При работе вентилятора перед ним образуется зона пониженного давления, а за ним – повышенного.

Осевой вентилятор состоит из рабочего колеса 1 (рис. 7.1) с лопатками 2, вращающегося на оси 3, спрямляющего аппарата 4, обтекателя 5 с хвостовиком 6, кожуха 7 с входным коллектором 8, диффузора 9. Воздух в вентилятор засасывается через входной коллектор, проходит через рабочее колесо, спрямляющий аппарат и диффузор. Рабочее колесо вентилятора представляет собой короткий цилиндр, по цилиндрической поверхности которого расположены лопатки, имеющие обтекаемый профиль, аналогичный профилю крыла самолета.

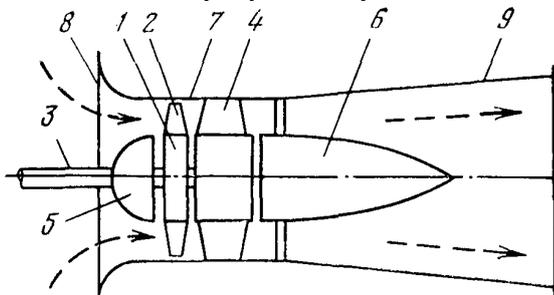


Рис. 7.1 – Схема осевого вентилятора

Центробежный вентилятор (рис. 7.2) состоит из рабочего колеса 1 с лопатками 2, вращающегося вокруг оси 3 в спиральном кожухе 4. Воздух поступает в вентилятор через всасывающее боковое отверстие 5, в котором располагается направляющий аппарат, который изменяет направление движения воздуха на радиальное. В рабочем колесе воздух проходит между лопатками, закручиваясь в направлении их движения, и выбрасывается в пространство между верхней кромкой лопаток и кожухом, продолжая двигаться по спирали и расширяясь по мере расширения кожуха. Из вентилятора воздух выходит через нагнетательное отверстие 6. Движение воздуха от нижней кромки лопаток к верхней вызывается действием центробежной силы, возникающей при вращении воздуха.

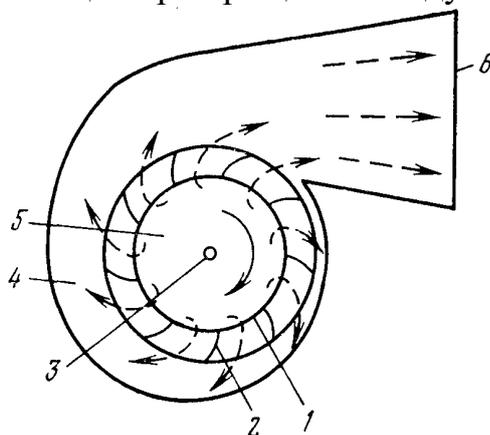


Рис. 7.2 – Схема центробежного вентилятора

Лопатки рабочего колеса центробежного вентилятора могут быть загнуты вперед (по направлению вращения колеса) или назад (против направления вращения). Регулирование работы центробежных вентиляторов производится либо при помощи направляющего аппарата, либо изменением скорости вращения рабочего колеса.

Центробежные вентиляторы проще по устройству, имеют большую прочность и создают меньше шума. Они позволяют развивать депрессию, значительно превышающую депрессию осевых вентиляторов. Стоимость установки центробежных вентиляторов меньше, чем осевых. Центробежные вентиляторы имеют большую глубину регулирования. Осевые вентиляторы проще в монтаже, занимают меньше места, удобны для применения в шахте, а при небольшой депрессии (<250 даПа) более экономичны.

7.2 Определение режима работы вентилятора

Все возможные режимы работы вентилятора лежат на его рабочей характеристике, которая представляет собой зависимость напора (депрессии) от подачи. График этой зависимости отличается для разных типов вентиляторов, но в большинстве случаев, с достаточной для инженерных расчетов точностью, в пределах области промышленного использования вентилятора, он описывается параболой вида

$$h = A - b Q^2,$$

где A и b – коэффициенты, которые определяют параметры характеристики вентилятора.

Режим работы вентилятора на вентиляционную сеть определяют координаты точки пересечения характеристики вентилятора и характеристики вентиляционной сети, на которую он работает (если естественная тяга равна нулю). Так, например (рис. 7.3), пересечение характеристики вентилятора (1-1) с аэродинамической характеристикой сети (R_c) в точке A , определяет величину депрессии вентилятора ($h_в$) и его подачу ($Q_в$).

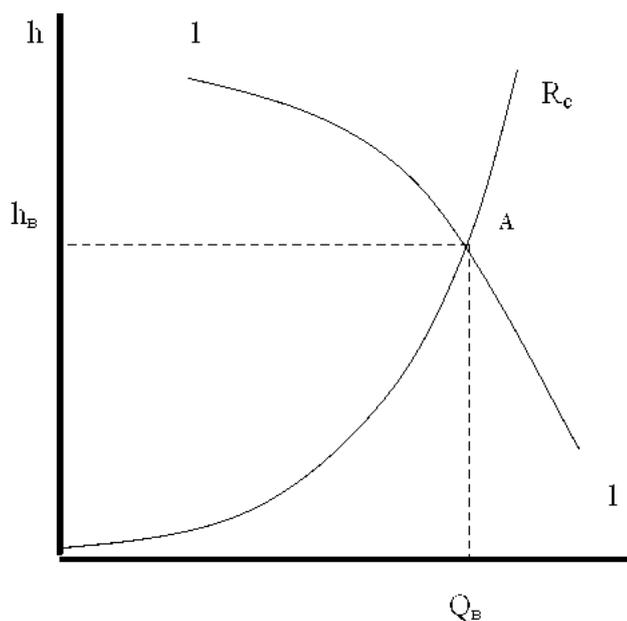


Рис. 7.3 – Определение режима работы вентилятора

Эти величины можно получить при совместном решении уравнений характеристики вентилятора и сети ($h=RQ^2$), относительно Q .

$$Q = \sqrt{\frac{A}{R+b}},$$

тогда

$$h = \frac{A}{1+b/R}.$$

Область промышленного использования вентилятора ограничена для каждой рабочей характеристики. Если рабочая точка вентилятора лежит за пределами этой области, то здесь возможна неэффективная (неэкономичная) работа или существует опасность неоднозначности режима работы. Неоднозначность, возможна на характеристиках, которые имеют в верхней части перегибы или «горбы». Это, в первую очередь, свойственно осевым вентиляторам. Под неэффективной работой понимается, в первую очередь, работа с низким к.п.д.

7.3 Совместная работа вентиляторов на общую сеть

Последовательная работа вентиляторов. Оценка эффективности последовательной работы вентиляторов на сеть (под эффективностью здесь понимается суммарный эффект совместной работы вентиляторов – увеличение подачи или депрессии шахты), выполняется графоаналитическим методом, путем сложения характеристик вентиляторов по депрессии и построения общей характеристики (рис. 7.4).

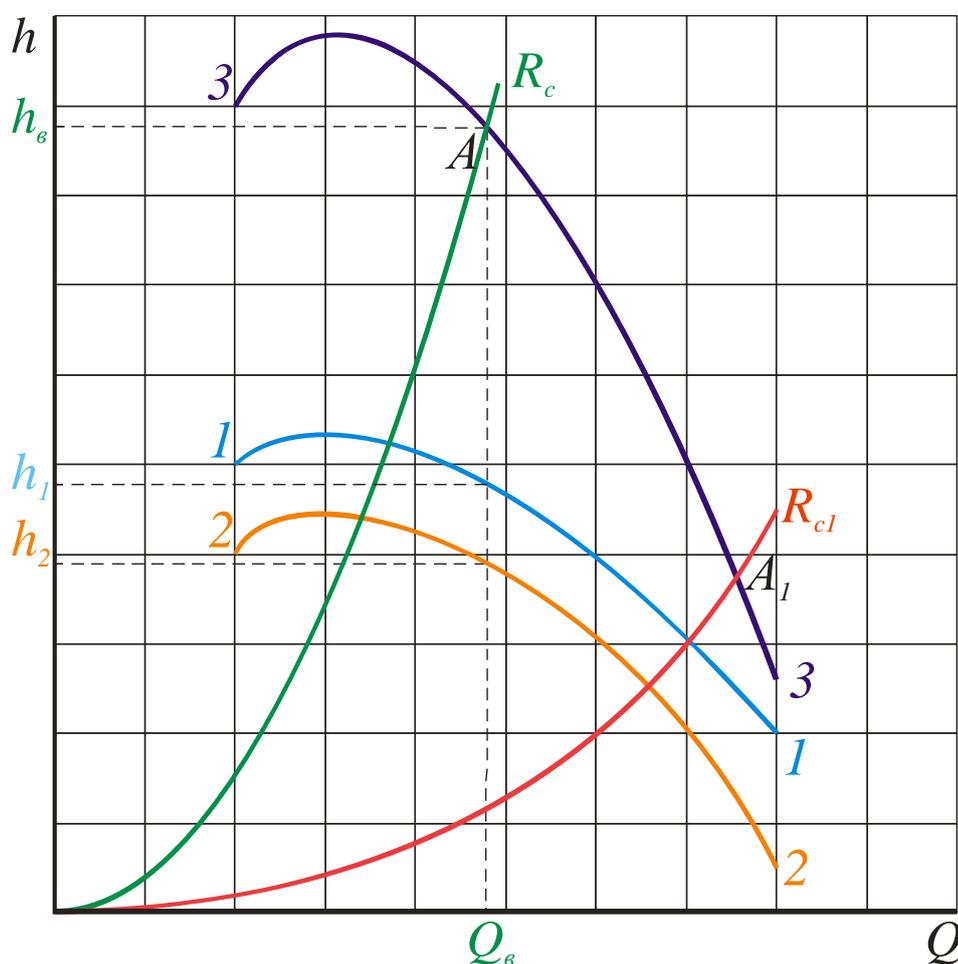


Рис. 7.4 – Характеристика последовательно работающих вентиляторов

Точка пересечения (A или A_1) этой общей характеристики (3-3) с аэродинамической характеристикой сети (R_c или R_{c1}) определит ее режим проветривания. В то же время, проектируя ординату этой точки на характеристики отдельных вентиляторов, можно определить их режимы работы (h_1 и h_2), при совместной работе на общую сеть. Последовательная работа вентиляторов выгодна при большом сопротивлении сети (точка A). При небольшом сопротивлении (точка A_1), эта работа может быть неэффективной.

Параллельная работа вентиляторов. При параллельной работе вентиляторов, их суммарная характеристика строится сложением абсцисс всех точек, которые лежат на их рабочих характеристиках (рис. 7.5, кривые 1-1 и 2-2). Режим проветривания сети определяет точка пересечения (A или A_1) суммарной характеристики (3-3) с аэродинамической характеристикой сети (R_c и R_{c1}). Проектируя, абсциссу такой точки на характеристики отдельных вентиляторов (1-1, 2-2), можно определить их режимы работы (Q_1 , Q_2). Параллельная работа вентиляторов выгодна на шахтах с небольшим сопротивлением сети (точка A), при большом сопротивлении она неэффективна (точка A_1).

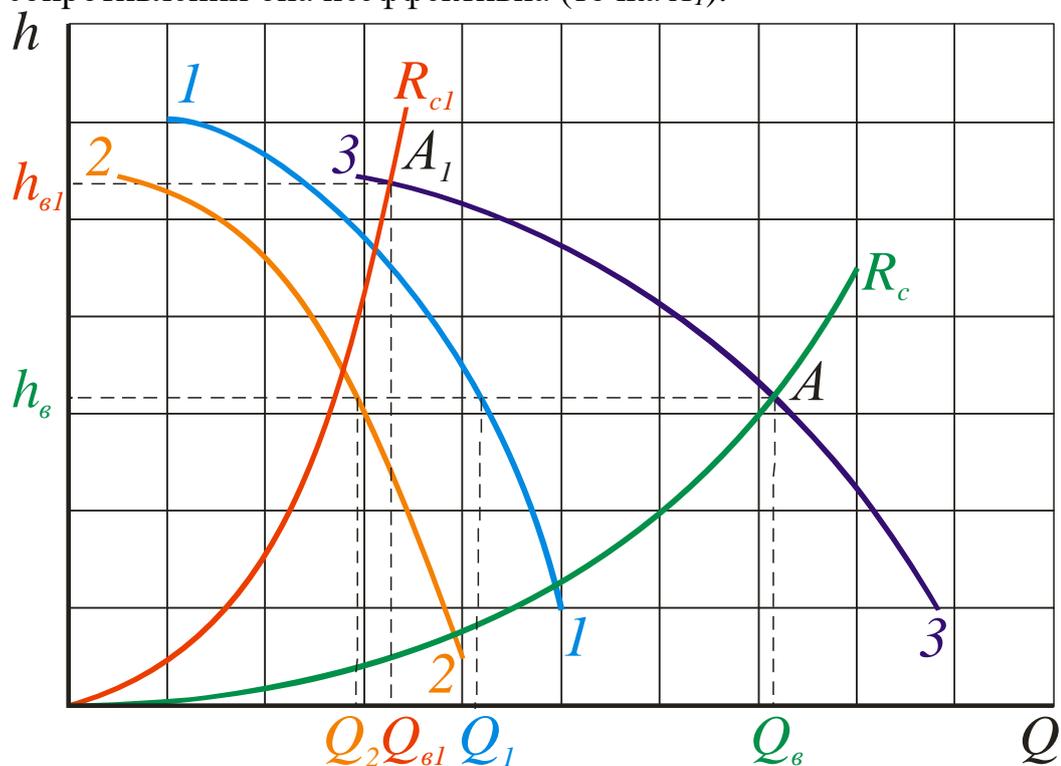


Рис. 7.5 – Характеристика параллельно работающих вентиляторов

8. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ И СООРУЖЕНИЯ

8.1 Вентиляторные установки главного проветривания

В общем случае, шахтная вентиляторная установка состоит из самого вентилятора (рабочий и резервный), канала вентилятора, диффузора, ляд (шиберов) и оборудования для регулирования положения ляд (шиберов). В зависимости от типа вентилятора, схемы вентиляторных установок могут быть двух основных видов: с одним и двумя обводными каналами. Так, для осевых вентиляторов схема установки, чаще всего, имеет вид как на рис. 8.1.

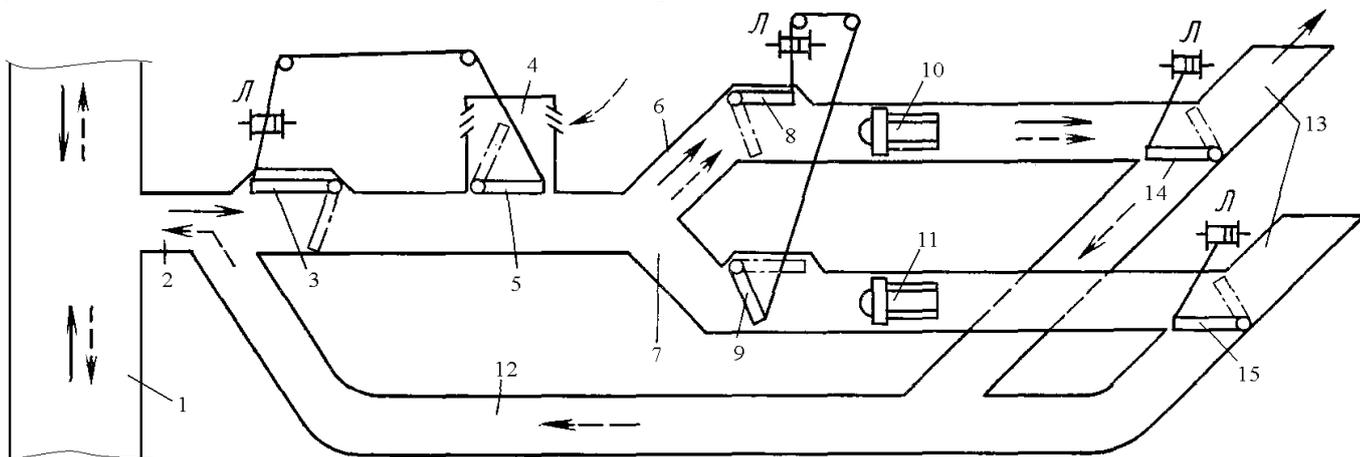


Рис. 8.1 – Схема каналов вентиляторной установки:

1 – ствол; 2 – основной канал; 3 – ляд основного канала; 4 – воздухозаборная будка; 5 – ляд воздухозаборной будки; 6 – канал рабочего вентилятора; 7 – канал резервного вентилятора; 8 – ляд канала рабочего вентилятора; 9 – ляд канала резервного вентилятора; 10 – рабочий вентилятор; 11 – резервный вентилятор; 12 – обводной канал; 13 – диффузоры рабочего и резервного вентиляторов; 14 – ляд обводного канала рабочего вентилятора; 15 – ляд обводного канала резервного вентилятора

В установках с центробежными вентиляторами (рис. 8.2) для каждого вентилятора оборудуется свой обводной канал.

8.2 Требования ПБ к устройству главной вентиляторной установки

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

Главные вентиляторные установки должны состоять не менее чем из двух вентиляторных агрегатов, причем один из них должен быть резервным. Вентиляторы на газовых шахтах, а также для новых и реконструируемых установок должны быть одного типоразмера и одинаковой производительности.

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

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

При проектировании и эксплуатации вентиляторных установок должны предполагаться специальные предупредительные меры относительно обмерзания проточной части вентиляторов, каналов и переключающих устройств, а также

предупредительные меры относительно попадания в проточную часть вентиляторной установки частиц горной массы (штыба) и воды. Вентиляционные каналы должны регулярно очищаться от пыли, инородных тел и оборудования, а также иметь оборудованный шлюзом выход на поверхность.

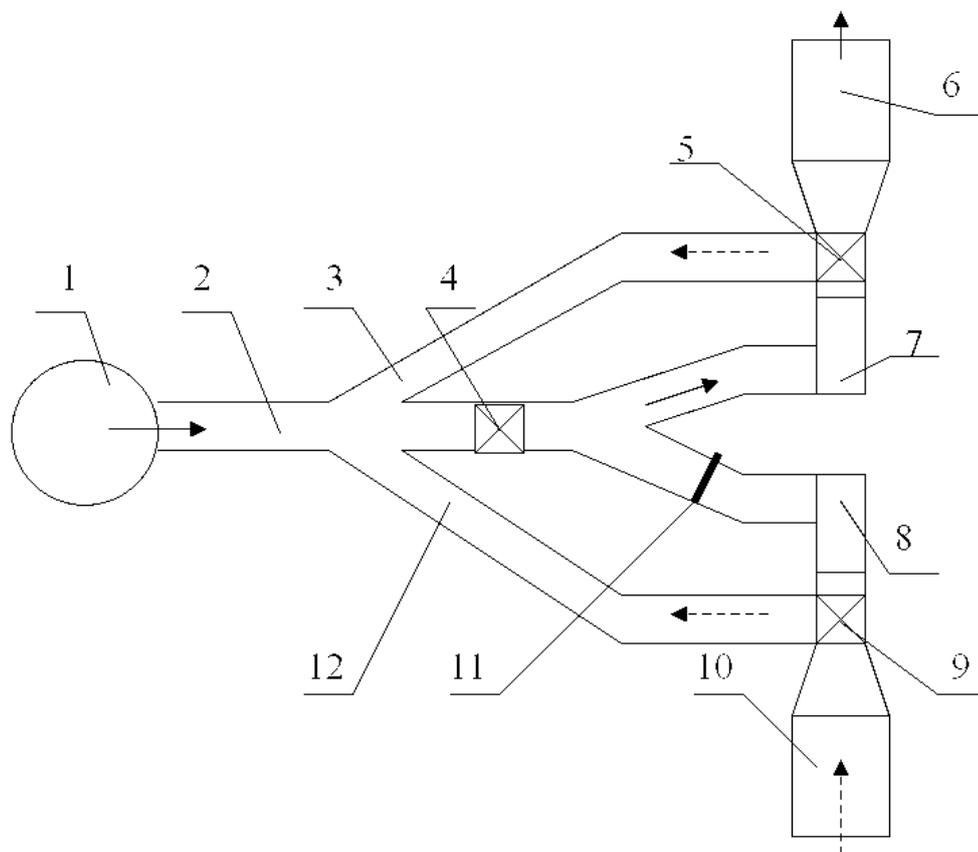


Рис. 8.2 – Схема вентиляторной установки с центробежными вентиляторами:

- 1 – ствол; 2 – канал вентилятора; 3, 12 – обводные каналы рабочего и резервного вентиляторов; 4 – лядя воздухозаборной будки; 5, 9 – ляды обводных каналов; 6, 10 – диффузоры рабочего и резервного вентиляторов;

7, 8 – рабочий и резервный вентиляторы; 11 – лядя канала резервного вентилятора

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

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

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

Исправность действия реверсивных, переключающих и герметизирующих устройств должна проверяться главным механиком шахты и начальником участка ВТБ не реже одного раза в месяц.

На всех шахтах не реже двух раз в год (летом и зимой), а также при изменении схемы проветривания и после замены вентиляторов должно проводиться по плану,

согласованным с командиром ГВГСС (гос. военизированная горноспасательная служба), реверсирование вентиляционной струи в выработках, а также проверка других вентиляционных режимов согласно ПЛА (план ликвидации аварий).

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

В здании вентиляторной установки должен быть телефон в шумоизолированной кабине с выведенным сигнальным устройством, связанный непосредственно с центральным коммутатором шахты на поверхности или горным диспетчером.

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

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

8.3 Вентиляционные сооружения

Все вентиляционные сооружения шахты можно, условно, разделить на три группы: для пропуска вентиляционной струи, для разделения вентиляционных потоков и для регулирования расхода воздуха в выработках. К первой группе относятся вентиляционные каналы, кроссинги (воздушные мосты), продольные перегородки. Ко второй – глухие перемычки и шлюзы. К третьей – перемычки с регулирующими окнами и ляды. От правильного устройства и эксплуатации вентиляционных сооружений зависит обеспеченность рабочих мест необходимым количеством воздуха.

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

Кроссингом (рис. 8.3) называют вентиляционное сооружение для «перебрасывания» одного потока воздуха (1), через другой (2), в местах пересечения двух горных выработок. По оба бока кроссинга устраивают шлюзы (3), каждый из которых оборудован двумя парами нормальных и «реверсивных» дверей. «Реверсивные» двери препятствуют «закорачиванию» воздуха, при изменении направления движения воздуха в горных выработках. «Закорачиванием» воздуха называют закорачивание вентиляционной струи. Термин «закорачивание» означает, как правило, движение воздуха из выработки, по которой идет свежая струя, в

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

Кроссинги бывают участковые и капитальные. Скорость движения воздуха в кроссинге не должна превышать 10 м/с. Участковые кроссинги, пропускающие менее 5 м³/с воздуха, могут сооружаться из металлических или железобетонных труб с площадью сечения $\geq 0,5$ м² и толщиной стенки металлической трубы ≥ 2 мм. При расходе воздуха >5 м³/с сооружаются кроссинги типа «перекидной мост». При расходе воздуха 20 м³/с и более должны проводиться обходные выработки с плавными сопряжениями, имеющие такие же сечения и крепь, как и выработки, к которым они примыкают. Сооружаются кроссинги из камня, бетона или железобетона. Перемычки у кроссингов делаются каменными или бетонными. Для кроссингов из труб допускается устройство чураковых перемычек.

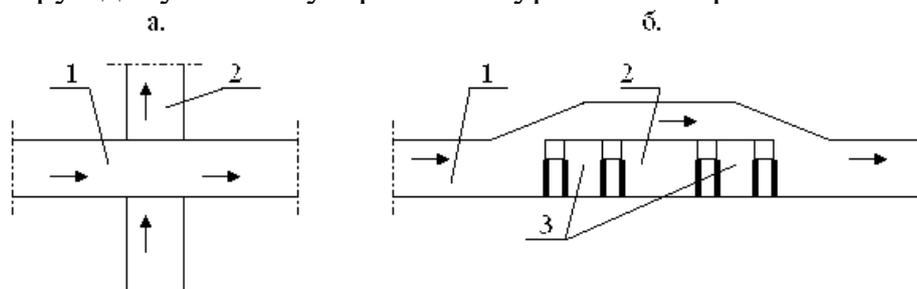


Рис. 8.3 – Упрощенная схема движения воздуха по кроссингу
а – схема пересечения выработок; б – схема кроссинга

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

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

Для прохода людей или транспортировки грузов в перемычках делают проемы, в которых могут быть навешены вентиляционные двери. Двери могут быть одностворчатые (только для прохода людей) и двустворчатыми (для прохода людей и транспортировки материалов). Каждая перемычка оборудуется двумя видами дверей – нормальными и реверсивными. В некоторых случаях, при больших перепадах давления, для облегчения открывания двери, она оборудуется

разгрузочным окном или специальным рычагом. Для того чтобы двери были всегда в закрытом состоянии после прохода людей, они оборудуются специальными пружинами или контргрузами, а лутки дверей имеют наклон (чтобы двери закрывались под своим весом). Если перемычки используются в качестве регулятора воздухораспределения, то в них может быть предусмотрено специальное отверстие – окно, величина которого определяется специальным расчетом. В некоторых случаях, в выработках, с интенсивным перемещением грузов, устанавливают автоматические двери, которые открываются и закрываются с помощью специальных механизмов. Несколько перемычек могут образовывать одно вентиляционное сооружение. Две перемычки (как минимум) с дверями, расположенные в выработке, разделяющей свежую и исходящую струи, образуют шлюз. Шлюз препятствует закорачиванию вентиляционной струи, поэтому одновременно открывать двери во всех перемычках одного шлюза запрещено. Для предотвращения одновременного открывания дверей, они оборудуются специальными блокировками (механическими или электрическими).

Противопожарные перемычки устанавливают, как правило, в начале и в конце наклонных выработок, в камерах и у стволов. Их назначение – предупредить распространение пожара по выработке или предупредить попадание в выработки горящих предметов. Створки дверей и рама этих перемычек изготавливаются из металла. В выработках, оборудованных рельсовым или конвейерным транспортом, в противопожарных перемычках предусматривают специальные проемы или окна, которые должны закрываться резиновыми фартуками, для уменьшения утечек воздуха. В аварийных условиях противопожарные двери могут использоваться в качестве регуляторов расхода воздуха. Существуют также взрывоустойчивые перемычки, которые устанавливаются в начале и конце склада взрывчатых материалов.

В некоторых случаях, для разделения вентиляционных струй или для уменьшения расхода воздуха, используют шиберы и ляды. Ляды могут быть как металлическими, так и деревянными, одно- или двустворчатыми. Например, металлические ляды в вентиляторных установках используются для реверсирования вентиляционной струи в шахте. Отличие шибера от ляды в том, что шибер открывают, сдвигая его в сторону, а ляда поворачивается на специальных навесах.

9. РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДОВ ВОЗДУХА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

9.1 Общие положения

В практике эксплуатации угольных шахт, вопрос регулирования воздухораспределения является первоочередным. Службы вентиляции занимаются этими вопросами практически ежедневно.

Все виды регулирования можно разделить на две основные группы:

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

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

Второй вид регулирования применяется постоянно, в течение всего срока службы шахты. Его можно назвать оперативным регулированием распределения воздуха. При этом выделяют «отрицательное» и «положительное» регулирование. Под «отрицательным» понимают регулирование, связанное с увеличением аэродинамического сопротивления горных выработок, а «положительное» – связано с его уменьшением. В практике шахтной вентиляции, для обозначения действий, связанных с увеличением расхода воздуха, иногда употребляют термин «усиления» проветривания.

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

«Положительное» регулирование осуществляют, уменьшая сопротивление выработки, убирая из нее упомянутые выше регуляторы, или уменьшая их сопротивление. К «положительному» регулированию можно, условно, отнести и перекрепление горных выработок.

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

Практические задачи регулирования, связаны, в первую очередь, с выбором места установки регулятора. В некоторых случаях может оказаться, что установка регулятора не дает ожидаемый эффект (в выработке, где установлен регулятор, расход воздуха уменьшился, а ожидаемого увеличения расхода воздуха в объекте регулирования, не произошло). Чаще всего, причиной этого является «удаленность»

объекта регулирования от выработки, в которой установлен регулятор. В результате, эффект усиления вентиляционной струи, как бы «гасится» в вентиляционной сети. Другими словами, все горные выработки и примыкающие к ним выработанные пространства, расположенные между местом установки регулятора и объектом регулирования, играют роль своеобразного демпфера или буфера. «Возмущение», вызванное установкой регулятора, «затухает», по мере удаления от выработки, в которой этот регулятор установлен.

9.2 Регулирование воздухораспределения с помощью вентиляционного окна

Вентиляционное окно представляет собой, как правило, прямоугольное отверстие (рис. 9.1) в дверях или перемычке (над дверным проемом или сбоку). Его устанавливают в выработке, где необходимо уменьшить расход воздуха.

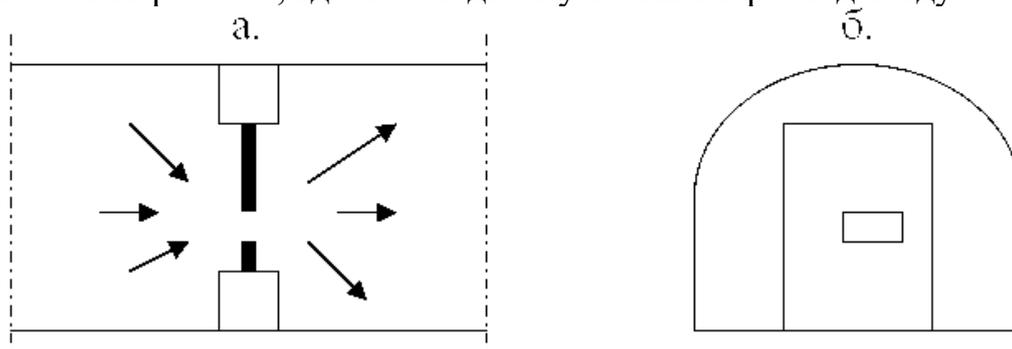


Рис. 9.1 – Вентиляционное окно в продольном (а) и поперечном (б) сечении выработки

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

При $S_{ок}/S_g < 0,5$ расчетная формула, для определения сечения окна, имеет вид

$$S_{ок} = \frac{S_g}{0,65 + 2,63S_g \sqrt{R_{ок}}},$$

а при $S_{ок}/S_g > 0,5$:

$$S_{ок} = \frac{S_g}{1 + 2,38S_g \sqrt{R_{ок}}},$$

где $S_{ок}$ и S_g – площадь сечения, соответственно, окна и горной выработки, в месте установки окна; R – сопротивление окна.

Сопротивление окна, которое обеспечивает необходимое распределение воздуха, можно определить при моделировании вентиляционной сети на компьютере. В некоторых случаях, когда выработка предназначена для транспортировки грузов, устанавливают подряд несколько окон-проемов. Сечение окна-проема, в выработке с рельсовым транспортом, должно обеспечивать проход вагонеток. В этой ситуации, необходимо предварительно определить необходимое суммарное сопротивление всех окон, а затем, рассчитав сопротивление одного окна, по выбранному сечению, определить необходимое количество окон.

Прогноз эффективности регулирования выполняется, с использованием соответствующего программного обеспечения, службой вентиляции шахты или службой ГВГСС.

9.3 Особенности регулирования распределения воздуха на многовентиляторных шахтах

Для проветривания современных угольных шахт, как правило, используется несколько вентиляторных установок (две и более). В этих условиях возникают некоторые особенности проветривания шахты и регулирования воздухораспределения, связанные с взаимовлиянием работы вентиляторов. В первую очередь, это связано с тем, что в сети горных выработок формируются своеобразные «зоны влияния» вентиляторов. Чаще всего, такая зона содержит в себе группу выработок, проходя по которым воздух проходит только через один из вентиляторов. Эта группа выработок может составить как крыло шахтного поля, так и отдельное выемочное поле или участок. Так, например, при фланговой схеме проветривания шахты (рис. 9.2), деление шахты на «зоны влияния», возможно уже около выработок воздухоподающего ствола.

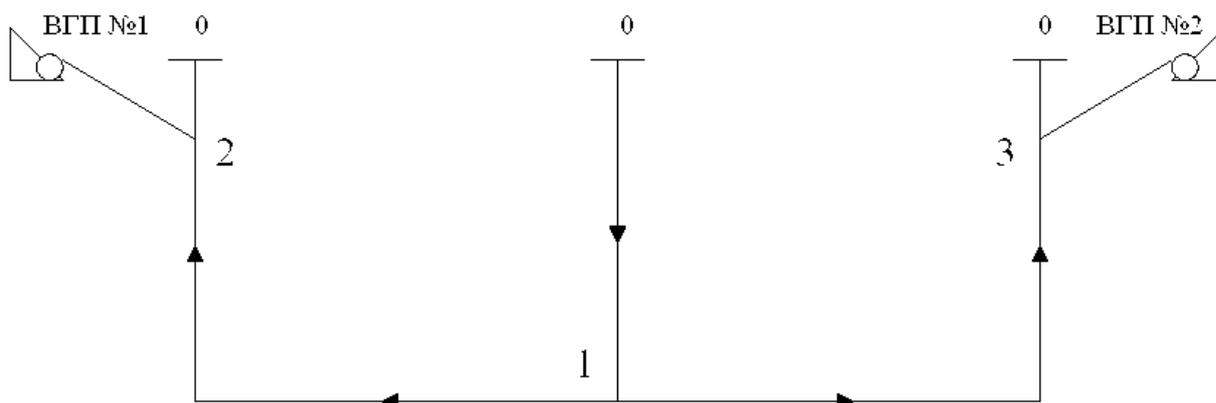


Рис. 9.2 – Схема проветривания шахты с двумя фланговыми вентиляторами

В такой схеме вентиляции, сокращение внешних утечек (подсосов) воздуха, через устье одного из стволов, с исходящей струей (например, участок 0-2), может привести к уменьшению расхода воздуха в сети («зоне влияния») другого вентилятора (участок 1-3). При этом депрессия этого вентилятора (ВГП №2) увеличится. Таким образом, увеличивая «влияние» вентилятора №1 на проветривание шахты (общее количество воздуха, который входит в шахту по стволу 0-1 увеличится), за счет сокращения утечек воздуха в ВГП №1, увеличивается сопротивление сети для вентилятора №2. Депрессия этого вентилятора увеличится, а подача уменьшится. В то же время, величина утечек воздуха через устье ствола, на котором установлен ВГП №2, также увеличится.

Взаимовлияние вентиляторов, а, следовательно, и величина изменений, которые происходят в их «зонах влияния» зависит от величины сопротивления общего участка 0-1. С его увеличением, уменьшится общая подача воздуха в шахту, но увеличится взаимовлияние. Тогда возникает опасность нарушения устойчивости проветривания в выработках, связанных с общим участком. Это, в первую очередь, относится к тем шахтам, где стволы для свежего воздуха пройдены в центре и на фланге шахтного поля. В этих случаях, в «зону» неустойчивого проветривания могут попасть все выработки, расположенные между стволами со свежим воздухом.

10. УТЕЧКИ ВОЗДУХА

10.1 Общие положения

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

Все утечки воздуха можно разделить на две основных группы: поверхностные (внешние) и подземные (внутренние). Поверхностные утечки (подсосы) воздуха – это утечки через неплотности надшахтных сооружений, вентиляционных каналов, ляды вентиляционных установок, через перекрытия и перемычки в устьях стволов, шурфов и др. Суммарная величина поверхностных утечек (подсосов) воздуха определяется как разница между подачей вентилятора (вентиляторов) главного проветривания, установленного на поверхности, и расходом воздуха, поступающим в шахту. Подземные (внутренние) утечки воздуха – это утечки через вентиляционные сооружения, погашенные выработки, выработанные пространства, нарушенные целики угля. Их можно разделить на местные и распределенные. К местным утечкам воздуха относятся утечки через вентиляционные сооружения и отдельные погашенные выработки. К распределенным утечкам относятся утечки через выработанные пространства. Эти утечки распределены по длине всей выработки, примыкающей к выработанному пространству или нарушенным целикам угля.

10.2 Утечки воздуха через вентиляционные сооружения

Величина утечек воздуха через вентиляционные сооружения, предназначенные для разделения потоков со свежей и исходящей струей воздуха, зависит от перепада давления, через эти сооружения, и качества их изготовления. В общем случае, аэродинамическое сопротивление (R_{ym}) пути движения воздуха определяется по известному закону сопротивления для турбулентного режима движения воздуха

$$R_{ym} = h_{ym}/Q_{ym}^2.$$

Места возникновения утечек воздуха зависят от вида вентиляционного сооружения. В глухих перемычках – это места контакта «тела» перемычки с окружающими породами (по периметру выработки). Максимальные утечки воздуха наблюдаются через деревянные перемычки, а минимальные – через бетонные и гипсовые. При прочих равных условиях, величина утечек будет увеличиваться с увеличением периметра перемычки и уменьшением ее толщины.

Если в перемычке есть двери, то основная часть воздуха просачивается в местах примыкания двери к раме, через саму дверь и под ней. Если вентиляционное

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

При проектировании шахты, величина утечек воздуха через перемычки и вентиляционные сооружения нормируется, а аэродинамическое сопротивление определяется, в зависимости от коэффициента воздухопроницаемости и площади перемычки (периметра), с учетом состояния боковых пород, в месте установки перемычки. Расчеты проводятся с использованием разных эмпирических зависимостей. При определении сопротивления вентиляционных дверей учитывается, также, площадь вентиляционных дверей, а для шлюза – количество дверей. Величина нормативных утечек воздуха, через глухие перемычки и вентиляционные шлюзы, находится в пределах, соответственно, 7-42 и 19-82 м³/мин. Контроль внутренних утечек воздуха, через вентиляционные сооружения, имеет свои особенности. Например, если величина расхода воздуха достаточно большая (может быть измерена шахтным анемометром), то, в зависимости от условий конкретной выработки, место измерения воздуха должно отвечать специальным требованиям. Желательно, что бы оно было на расстоянии 5-12 b (b – ширина выработки) от вентиляционного сооружения и ближайшего сопряжения с другими выработками. При измерении скорости воздуха перед перемычкой (по ходу воздушного потока), оно должно быть удалено от нее на расстояние не менее 5b, а за перемычкой – не ближе 12b.

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

При небольших величинах утечек воздуха, для их измерения, с достаточной для практических целей точностью, можно использовать специальную, легкую (переносную) перемычку. Измерение скорости воздуха, в этом случае, делают в специальном окне, расположенном в перемычке, а расход определяют по формуле

$$Q_{ут} = V S_{ок},$$

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

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

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

10.3 Утечки воздуха через выработанные пространства

Расход воздуха через выработанное пространство с откаточного (конвейерного) штрека на вентиляционный, относят к распределенным (рассредоточенным) утечкам (в случае примыкания штреков к выработанному пространству). Их величина может составить 30 % и более от расхода воздуха, поступающего в начало откаточного штрека. Влияние этих утечек воздуха на содержание метана в лаве и вентиляционном штреке зависит от схемы отработки и проветривания выемочного участка. Величина утечек зависит от перепада давления между откаточным и вентиляционным штреком, схемы проветривания участка, аэродинамического сопротивления выработанного пространства. Максимальные утечки воздуха, как правило, наблюдаются на расстоянии до 50 м от забоя лавы. По

мере удаления от лавы утечки воздуха уменьшаются и, на расстоянии 500-600 м, становятся равными нулю. Исследования показывают, что, начиная с расстояния 50 м от лавы, режим движения воздуха на путях утечек близок к ламинарному.

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

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

10.4 Внешние утечки воздуха

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

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

11. ПЫЛЕВОЙ РЕЖИМ ШАХТ

11.1 Общие положения

Шахтная пыль это совокупность тонкодисперсных твердых частиц органического или минерального происхождения. В горных выработках пыль присутствует в воздухе во взвешенном состоянии или оседает на поверхности выработок. Способность пыли находиться во взвешенном состоянии зависит от ее дисперсности (размеров частиц), удельного веса, а также от влажности и температуры воздуха. Запыленность воздуха зависит от интенсивности пылеобразования, скорости движения воздуха, расстояния от источника пылеобразования и др. В зависимости от скорости движения воздуха, на определенном расстоянии от источника пылеобразования, концентрация пыли будет максимальной. Затем, по мере удаления, концентрация будет уменьшаться, так как процесс разбавления и уноса пыли будет преобладать над интенсивностью поступления пыли в воздух.

Движение пыли в воздухе аналогично движению газа определяется молекулярным и турбулентным движением воздушной среды, а также действием силы тяжести. Чем мельче пыль и чем меньше продолжительность нахождения ее в воздухе, тем больше сходства в диффузии газа и пыли. Движение пыли в воздухе имеет и отличительные особенности. В результате действия силы тяжести, по истечении некоторого времени вся пыль выше определенной крупности оседает на поверхностях и почве выработки. Оставшиеся в воздухе пылинки следуют за пульсационным движением воздуха с некоторым отставанием, вследствие чего происходит набегание пульсирующих объемов воздуха на пылинки. Эти объемы воздуха затормаживаются, что вызывает уменьшение турбулентности потока.

В горном деле пыль рассматривается, как профессиональная вредность и как причина взрывов. Наличие пыли в воздухе вызывает раздражение глаз, дыхательных путей и легких. Ее вдыхание вызывает разные легочные заболевания, известные под общим названием «пневмокониоз» (греч. пневма – дыхание, конис – пыль). Тяжелая форма пневмокониоза – силикоз, вызывается кремниевой пылью и сопровождается уплотнением легочной ткани. Легочное заболевание антракоз (греч. антракон – уголь) вызывается угольной пылью. Главные источники пыли в шахте: места, где происходит бурение, выемка породы или полезного ископаемого, погрузка и транспортировки породы и полезного ископаемого. Предельно допустимые концентрации (ПДК) пыли угольных шахт приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1 – Допустимые концентрации пыли

Качественная характеристика пыли	Содержание свободной двуокиси кремния в пыли, %	ПДК, мг/м ³ , по общей массе
Породная, углепородная	От 10 до 70	2
Углепородная, угольная	От 5 до 10	4
Антрацитная	До 5	6
Пыль каменного угля	До 5	10

11.2 Горючие и взрывчатые свойства пыли

Для воспламенения пыли необходимы два условия: достаточное количество кислорода и источник пламени, с необходимой температурой. Температура воспламенения метано-воздушной смеси и угольной пыли равняется соответственно 650-750 и 700-800 °С. Особенности возникновения и протекания взрыва:

- пыль может взрываться при отсутствии метана;
- взрыв метана может инициировать взрыв пыли (переводит осевшую пыль во взвешенное состояние);
- наличие в воздухе тонкой и сухой угольной пыли снижает нижний предел взрывчатости метано-воздушной смеси (взрыв возможен при содержании метана <5%);
- продукты взрыва смеси с угольной пылью всегда содержат большое количество окиси углерода (а при взрыве метана – преимущественно углекислый газ);
- возможность взрыва пыли зависит от степени ее дисперсности, содержания влаги, в угле и выработке, зольности, выхода летучих веществ, объема пространства, в котором формируется пылевое облако и инициируется взрыв, температуры источника воспламенения;
- трение частиц пыли в облаке может вызывать электрический разряд, который воспламенит пыль.

11.3 Факторы, влияющие на взрывчатость угольной пыли

Наличие летучих веществ. Основные компоненты летучих веществ, которые обуславливают взрывчатость угольной пыли – смолистые вещества, водород, этан и непредельные углеводороды. Степень взрывчатости характеризуется давлением в месте взрыва. С увеличением выхода летучих веществ давление в месте взрыва растет. Различают слабовзрывчатую угольную пыль (содержание летучих веществ ≤ 15 %) и сильновзрывчатую (содержание летучих веществ > 15 %).

Дисперсность пыли. Степень взрывчатости пыли растет с увеличением степени ее измельчения. В отдельных случаях, сила взрыва достигает максимума при диаметре частиц < 10 мкм. В шахте, взрывоопасность пыли увеличивается, по мере отдаления от источника пылеобразования. Скорость распространения пламени в пылевом облаке растет с уменьшением размеров частиц пыли, а температура воспламенения – снижается.

Состав шахтного воздуха. Наличие метана, снижает нижний порог взрывчатости пыли. Так, если нижний предел взрывчатости сильновзрывчатой пыли равен 11-15 г/м³, то, при содержании метана 2,5 %, он уменьшается до 3-5 г/м³. Для слабовзрывчатой пыли (выход летучих 10-15 %) нижний предел равняется 50 г/м³, верхний предел – 300-400 г/м³.

Влажность пыли. Влага действует как инертная добавка. Вода поглощает тепла в 5 раз больше чем инертная пыль, но суспензия пыли, при наличии мощного источника тепла, может взорваться при любой влажности. Поэтому, защитное действие влаги, в основном, оказывается в связывании осевшей пыли.

Инертные добавки. Пылевое облако, вместе с угольными частицами, может содержать негорючие частицы минерального происхождения (зола, сланец). Часть тепла, при взрыве, тратится на их нагревание, что снижает температуру пламени. Кроме того, негорючие частицы экранируют теплопередачу и, тем самым, снижают тепловой баланс. Влияние инертных добавок на взрывчатость пыли, в основном,

проявляется при выходе летучих веществ < 15 %. При выходе летучих более 30 %, инертные добавки не влияют на взрывчатость угольной пыли.

11.4 Особенности взрыва угольной пыли в шахте

В зависимости от скорости распространения пламени различают:

- спокойное сгорание пыли (воспламенение), при недостаточной концентрации кислорода в смеси;
- вспышка (давление составляет менее $15 \cdot 10^{-3}$ МПа, а скорость горения 4-10 м/с);
- взрыв (давление составляет $15 \cdot 10^{-3}$ -1 МПа, а скорость горения 10-330 м/с);
- детонацию (давление составляет 2-5 МПа, а скорость распространения пламени 500-8000 м/с).

В шахте нет условий для возникновения детонации (она требует низкого сопротивления, отсутствия поворотов, сужений, расширений, преград, а также сохранения высокой температуры во фронте пламени для метано-воздушной смеси, например, не ниже 1300 °С, что возможно при малой теплоотдаче из фронта горения). При взрыве угольной пыли перед пламенем со скоростью звука (330 м/с) движется волна сжатия. Ударная волна поднимает осевшую пыль и создает по всей выработке, между фронтом пламени и давления, взрывчатую пыле-воздушную среду, в которой и распространяется пламя. Скорость распространения взрыва уменьшается при наличии местных сопротивлений – сужений, поворотов, тупиков.

При взрыве, тепло от горящих частиц не успевает выделяться в окружающую среду. Это вызывает ускорение реакции и лавинообразный процесс горения. Поэтому, успевают сгореть только тонкодисперсные частицы пыли, а остальная часть поддается коксованию. На оборудовании и поверхностях выработки образуются характерные агломераты ококсированной пыли. Там, где пламя распространялось медленно – агломераты оказываются по оба бока выступающих элементов крепи, при большой скорости пламени – в основном, на наветренной стороне (откуда дует ветер), при очень большой скорости распространения пламени – на подветренной стороне. При взрыве бывает два вида удара воздушной волны: прямой (от расширения воздуха) и обратный (от сжатия продуктов взрыва при снижении их температуры и конденсации паров воды).

11.5 Предупреждение взрывов угольной пыли

Комплекс мер, который предупреждает возникновение взрывов и препятствует их развитию, содержит в себе три основных группы мероприятий.

Профилактика образования пыли и пылевого облака:

- использование машин и механизмов, которые обеспечивают минимальное пылеобразование в процессе добычи угля;
- предварительное увлажнение пластов угля;
- орошение мест пылеобразования и осевшей пыли;
- применение туманообразующих и водяных завес (в т.ч. образованных взрывом патронов ВВ размещенных внутри мешков с водой, которые подвешиваются и укладываются на почву выработки);
- эффективная вентиляция горных выработок;
- очистка от пыли транспортных и вентиляционных выработок;

- оборудование скиповых подъемов в стволах с исходящей вентиляционной струей;

- расположение обогатительных фабрик, с учетом места закладки воздухоподающих стволов шахты.

Профилактика воспламенения пыли:

- применения предохранительных ВВ, искробезопасных средств взрывания, взрывобезопасного электрооборудования и шахтных светильников;

- гидрозабойка шпуров (применение полиэтиленовых ампул с водой);

- запрещение использования открытого огня в шахте и курения.

Мероприятия, которые обеспечивают локализацию или подавление взрывов включают осланцевание выработок и установку сланцевых или водяных заслонов.

Осланцевание выработок – искусственное повышение зольности отложившейся пыли, за счет добавления у нее стандартной инертной пыли. Для осланцевания горных выработок, в основном, используется пыль из известняка и глинистого сланца. Она не должна слеживаться и поглощать влагу.

При сланцевой взрывозащите должны проводиться побелка и осланцевание выработок, установка сланцевых заслонов.

Сланцевый заслон представляет собой ряд полок, которые располагаются поперек выработки, у ее кровли. На полках размещается инертная пыль. Ее количество в одном заслоне, по Правилами безопасности, определяется из расчета 400 кг на 1 м² площади поперечного сечения выработки, в месте установки заслона.

В водяных заслонах, вместо пыли, на полки устанавливаются сосуды с водой или подвешивают мешки с водой к элементам крепи выработки.

Сланцевыми или водяными заслонами защищают:

- очистные выработки;
- забои подготовительных выработок (при наличии угольного пласта);
- крылья шахтного поля на каждом пласте;
- конвейерные выработки;
- пожарные участки.

Сланцевые и водяные заслоны только локализируют взрыв, а не предупреждают его. Заслоны устанавливаются на поступающей и исходящей струях защищаемого участка. Заслоны устанавливаются в горизонтальных и наклонных выработках с углом наклона до 18°. Общая длина заслона не должна быть менее 30 м для водяных заслонов, и 20 м для сланцевых.

Сланцевые заслоны должны устанавливаться на расстоянии не менее 60 м и не более 300 м, водяные заслоны – не менее 75 м и не более 250 м от забоев очистных и подготовительных выработок, сопряжений участков выработок, с другими выработками, а также от изолирующих пожар перемычек. Места установки заслонов должны наноситься на планы горных выработок, прилагаемые к плану ликвидации аварий.

12. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ШАХТ

Выемка полезных ископаемых на глубоких шахтах и рудниках сопровождается повышенным нагреванием воздуха, который поступает в рабочие забои. Во многих случаях температура воздуха в горных выработках превышает нормы, установленные действующими Правилами безопасности (табл. 12.1).

Таблица 12.1

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

Наиболее неблагоприятные условия складываются в очистных и подготовительных забоях.

Основными источниками тепла в горных выработках является горный массив, выемочные и транспортные механизмы, электрооборудование, полезное ископаемое, окислительные процессы и шахтная вода. Степень влияния каждого из этих источников тепла на температуру воздуха в горных выработках зависит от системы разработки, схемы вентиляции и параметров проветривания, способа управления горным давлением и других горнотехнических параметров. На глубине 800-1300 м температура воздуха, без применения мероприятий для ее снижения, достигает 32-36°С. Такие условия негативно отражаются на здоровье и безопасности труда горняков, приводят к снижению нагрузки на очистные забои, темпов проведения горных выработок и, в конечном счете, к ухудшению технико-экономических показателей работы шахты.

Интенсивная вентиляция горных выработок, которая достигается увеличением скорости движения воздуха, оказывает охлаждающий эффект, который интенсивно проявляется при скорости воздуха от 0,5 до 4 м/с. При дальнейшем увеличении скорости потока, интенсивность уменьшения температуры воздуха снижается, а температура приближается к некоторой постоянной величине.

На шахтах Донбасса прирост температуры воздуха в лавах часто превышает 10°С. В этих условиях, обеспечение нормальных условий работы в лавах возможно только при подаче в них воздуха с температурой ниже на 10°С. Для обеспечения тепловых условий, отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям, необходимо применять, на угольных шахтах, системы кондиционирования воздуха, с подземными стационарными холодильными установками. Они оборудуются на отработываемом горизонте, а охлаждение воздуха осуществляется непосредственно, в выработках выемочных участков, с помощью участков теплообменников. Возможный вариант такой системы показан на рис. 12.1. Хладагент, применяемый в холодильных машинах должен отвечать следующим требованиям: не гореть, не быть ядовитым, не образовывать взрывчатых смесей и иметь слабую агрессивность в отношении конструктивных материалов. Нельзя использовать аммиак, т.к. он

ядовит и образует взрывчатые смеси. Наибольшее применение нашли фреон-12 и фреон-22 (его хладопроизводительность в 1,6 раза выше, чем у фреона-12). Фреон-12 при температуре $>400^{\circ}\text{C}$ разлагается, образуя отравляющий газ фосген. Хладоносителем в системе является вода.

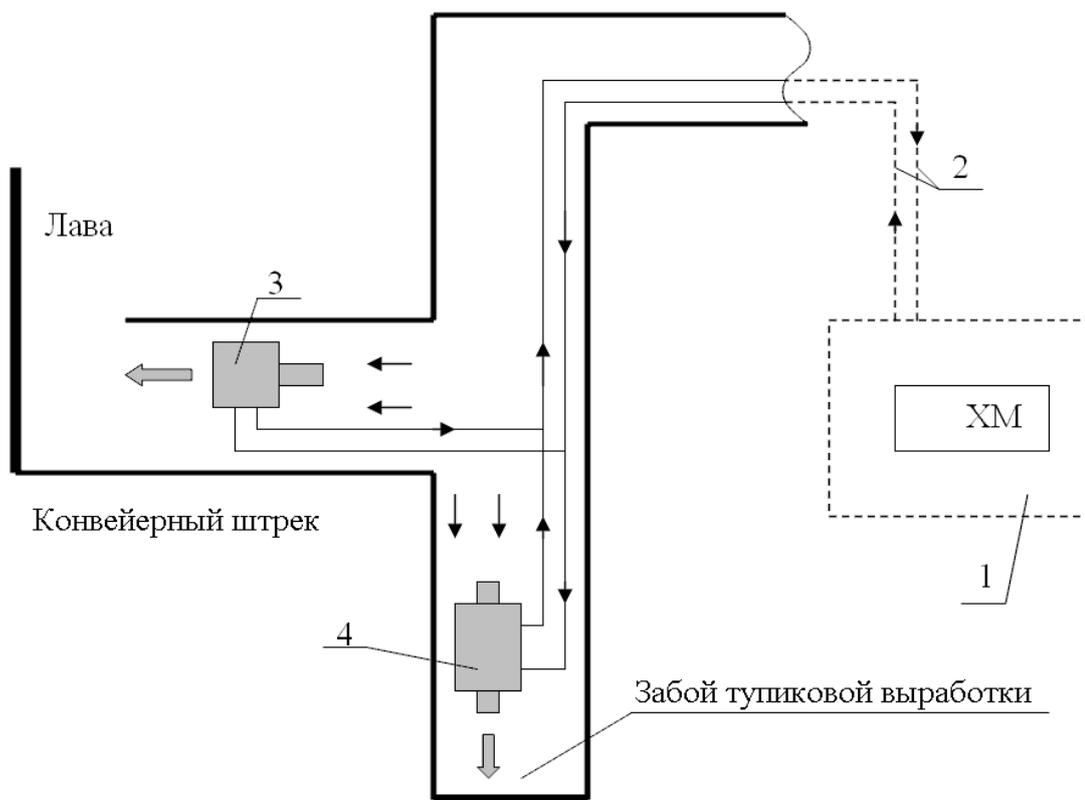


Рис. 12.1 – Схема системы подземного кондиционирования воздуха:
 1 – холодильная машина; 2 – трубопроводы с хладоносителем;
 3 – штрековый воздухоохладитель; 4 – тупиковый воздухоохладитель

В дополнение к участковым воздухоохладителям, эффективным способом снижения температуры в лавах, является рассредоточенная подача охлажденного (до $1-2^{\circ}\text{C}$) и осушенного (содержание влаги $2-3 \text{ г/кг}$) воздуха по длине лавы (например, с помощью перфорированного трубопровода).

Система кондиционирования в забое тупикового выработки, проводимой с помощью комбайна, позволяет охлаждать электродвигатель и гидросистему проходческого комбайна, воздух в нагнетательном вентиляционном трубопроводе и воду, в системе пылеподавления (рис. 12.2). В общем виде, она содержит в себе: вентиляционный трубопровод (1), воздухоохладитель (2), воздуховыпускной патрубок (3), устройство, для охлаждения двигателя комбайна (4), устройство для охлаждения гидросистемы комбайна (5), трубопровод системы пылеподавления (6), водоохлаждающий теплообменник (7), пылеулавливающая установка (8), трубопроводы для отвода (9) и подведения хладоносителя (10). Непосредственно в забой подается 25 % от количества воздуха в трубопроводе. От забоя воздух забирается вентилятором пылеподавляющей установки и выбрасывается за пределы призабойной рабочей зоны.

Применение охлажденной воды для пылеподавления локализует тепловыделение из горного массива и разрушенной горной массы. Охлажденная вода снижает тепловыделение двигателя и гидросистемы комбайна. При работе

данной системы кондиционирования, в призабойном пространстве тупиковой выработки обеспечивается температура воздуха 23,5-25,4°С.

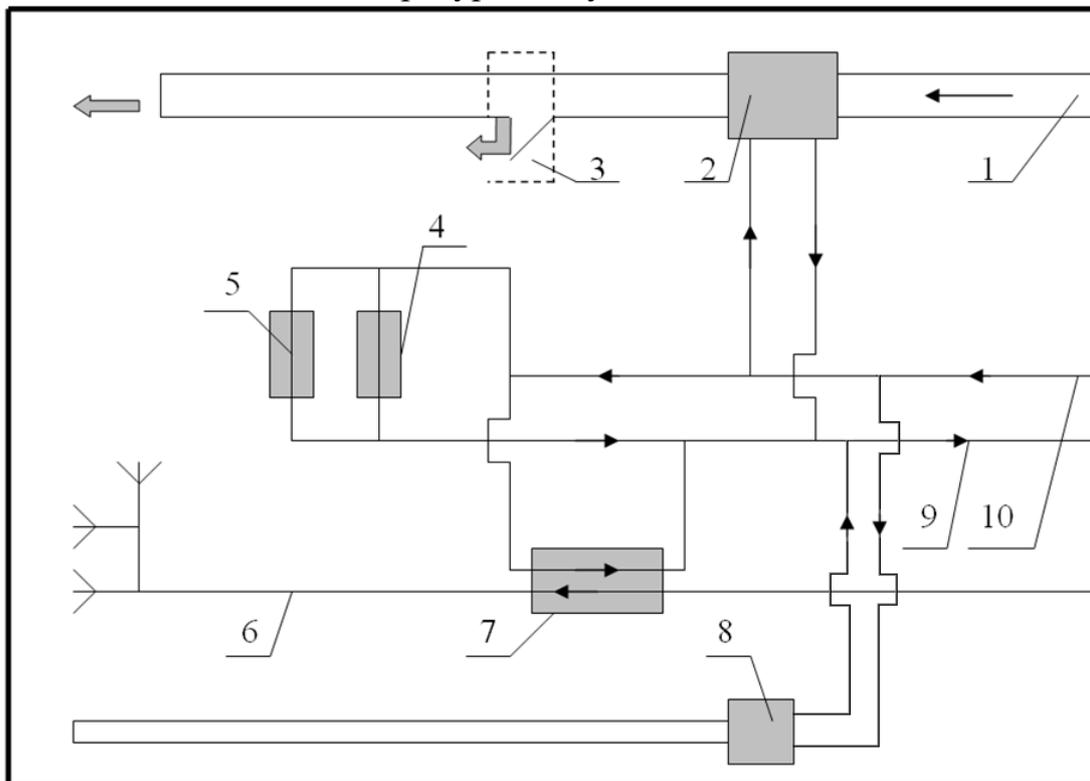


Рис. 12.2 – Схема кондиционирования воздуха в призабойной зоне тупиковой выработки с комбайновой проходкой

Тепловыделение в результате процессов окисления можно сократить путем уменьшения количества угольной пыли и мелочи в выработках, уменьшения продолжительности откатки добытого угля, отказа от применения деревянной крепи или путем применение растворов, препятствующих гниению древесины.

13. ПРОВЕТРИВАНИЕ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Понятие выемочного участка, с точки зрения вентиляции шахты, означает определенную систему горных выработок, которая включает очистной забой (лава), откаточные (конвейерные) и вентиляционные выработки и выработанное пространство. Очистные забои являются основными объектами проветривания шахты и, именно в них, наиболее интенсивно происходят процессы газопылевиделения.

При выборе схемы проветривания выемочных участков первостепенное значение имеют вопросы безопасности и обеспечения высоких нагрузок на очистные забои.

Схема проветривания выемочного участка должна обеспечивать:

- устойчивое проветривание, как при нормальных технологических процессах, так и в случае возникновения аварии;
- способствовать ликвидации аварии и спасению горняков;
- на глубоких шахтах, где действует ряд неблагоприятных факторов – снижение их влияния на рабочих;
- максимальную нагрузку на очистной забой;
- невозможность образования слоевых и местных скоплений метана;
- подачу свежей струи к очистному забою по двум выработкам при отработке выбросоопасных пластов.

Классификация схем проветривания содержит в себе пять признаков. Первый признак – тип. Он определяет степень разбавления вредностей по источникам поступления. Их всего три:

1 тип – последовательное разбавление. Свежая струя воздуха поступает по конвейерному (откаточному) штреку, разбавляет метан, который выделяется при транспортировке угля, потом поступает в очистной забой, разбавляя метан из отбитого угля, пластовых обнажений и частично метан, который выделяется в призабойное пространство из закрепной области; выйдя на вентиляционный штрек струя воздуха разбавляет метан, который выделяется в выработанном пространстве и выносится на штрек утечками воздуха, кроме того разбавляются газы, образующиеся в результате гниения древесины, работы машин и механизмов, и т.п.;

2 тип – частичное разбавление. Свежая струя поступает по конвейерному (откаточному) штреку, разбавляет метан, который выделяется при транспортировке угля, потом поступает в очистной забой, разбавляя метан из отбитого угля, пластовых обнажений и частично метан, который выделяется в призабойное пространство из закрепного, а дальше поступает в общий исходящий поток воздуха из участка, не принимая участие в разбавлении вредностей, которые выделяются на другом штреке;

3 тип – полное разбавление. Свежая струя поступает в очистной забой, не принимая участия в разбавлении вредностей, а после того, как она омыла очистной забой, идет в общую исходящую струю крыла шахты, не принимая участие в разбавлении вредностей, которые выделяются из других источников.

Второй признак – подтип. Он определяет направление выдачи исходящего потока воздуха из очистного забоя. Их всего три:

В – выпуск исходящего потока на выработанное пространство;

М – выпуск исходящего потока на массив угля;

К – комбинированный выпуск исходящего потока, когда на выходе из очистного забоя струя разделяется: часть идет на массив, а часть – на выработанное пространство. Достаточно эффективно при высокой метанообильности выемочного участка, когда часть метана отводится по неподдерживаемым выработкам и потом каптируется средствами дегазации. Однако стоит обращать особенное внимание на эффективность работы средств дегазации и опасность скоплений метана на сопряжении штрека и очистного забоя.

Третий признак – класс. Он определяет зависимое или независимое проветривание очистных выработок. Их всего два:

Н – независимое, то есть вентиляционная струя, поступив в очистной забой, омыв его, отводится в общую исходящую струю крыла шахты, минуя другие объекты проветривания.

З – зависимое, это проветривание так называемых спаренных лав.

Четвертый признак – подкласс. Он определяет направление движения вентиляционной струи в очистном забое. Их всего три:

в – восходящее движение вентиляционной струи по очистному забою;

н – нисходящее движение вентиляционной струи по очистному забою;

г – горизонтальное движение вентиляционной струи по очистному забою.

Пятый признак – вид. Он определяет взаимное направление движения свежей и исходящей струи в пределах выемочного участка. Их всего два:

вт – возвратноточное направление движения, когда свежая и исходящая струи направлены в противоположные стороны;

пт – прямоточное направление движения, когда свежая и исходящая струи направлены одинаково.

Разные варианты схем проветривания представлены на рис. 13.1. Общее количество вариантов схем, которые учитывают конкретные горнотехнические условия угольного бассейна, шахты или отдельного угольного пласта, составляет около 50. Особенности их применения рассматриваются в «Руководстве по проектированию вентиляции угольных шахт».

С точки зрения моделирования схем вентиляции выемочных участков на ЭВМ, необходимо отметить, что, независимо от схемы, каждая из выработок, которые входят в выемочный участок, должна моделироваться отдельной ветвью. Методика моделирования путей утечек воздуха, в пределах выемочных участков, принимается, в зависимости от задач, решаемых в ходе моделирования и достоверности информации, что позволяет структурировать пути потерь. В общем случае, при решении задач устойчивости вентиляционных струй, в лавах с нисходящим и восходящим проветриванием, расход воздуха через выработанное пространство, которое примыкает к лаве (участок длиной 30-50 м), можно представить в модели, в виде отдельной ветви.

Эта ветвь является эквивалентом всех утечек воздуха через выработанное пространство, которое примыкает к лаве на протяжении 30-50 м. Примеры таких моделей, для схем типа 1-В-Н, приведенные на рис. 13.2. Аэродинамическое сопротивление ветви, которая моделирует расход воздуха через выработанное пространство (Q_v), примыкающее к лаве, определяется по закону сопротивления

$$R_{y.l} = h_l / Q_y^2,$$

где h_l – депрессия лавы.

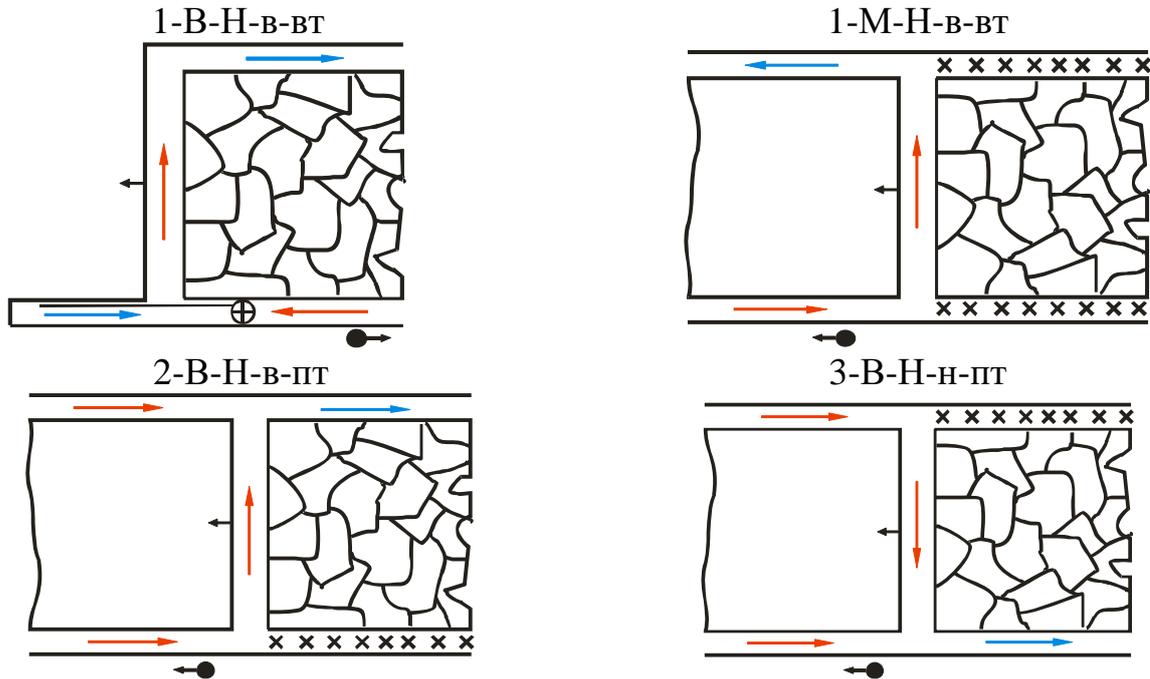


Рис. 13.1 – Варианты схем проветривания выемочных участков

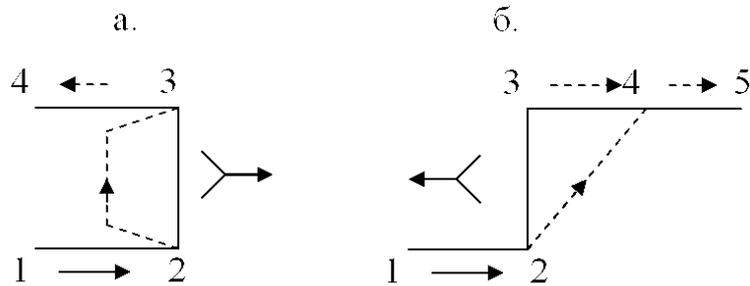


Рис. 13.2 – Схемы моделирования участков типа 1-В-Н

Более сложные методики моделирования выработанных пространств используются в ходе специальных исследований. В этих случаях, чаще всего, используется, так называемая, «сеточная» модель, когда все выработанное пространство, разбито на ячейки, а каждая сторона такой ячейки, представляет собой отдельную ветвь вентиляционной сети.

14. ПРОВЕТРИВАНИЕ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК

14.1 Общие сведения

Понятие «подготовительные выработки» означает, в первую очередь, что это выработки, которые находятся в стадии проходки и, что они проходятся для подготовки к отработке части выемочного поля или шахты (крыло, уклонное поле, выемочный участок). Тупиковая часть подготовительной выработки, в которой проводятся все технологические операции, связанные непосредственно с ее проходкой, называется забоем.

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

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

14.2 Вентиляция тупиковых выработок за счет общешахтной депрессии

Этот способ проветривания осуществляется с применением продольных перегородок, которые разделяют выработки по всей их длине, на две части (рис. 14.1).

Продольные перегородки (рис. 14.1а) рекомендуется применять при небольшой длине выработки (до 60 м), когда в нее необходимо подать большое количество воздуха. Перегородка изготавливается из досок, кирпича, прорезиненной ткани. Основное требование к ней – герметичность.

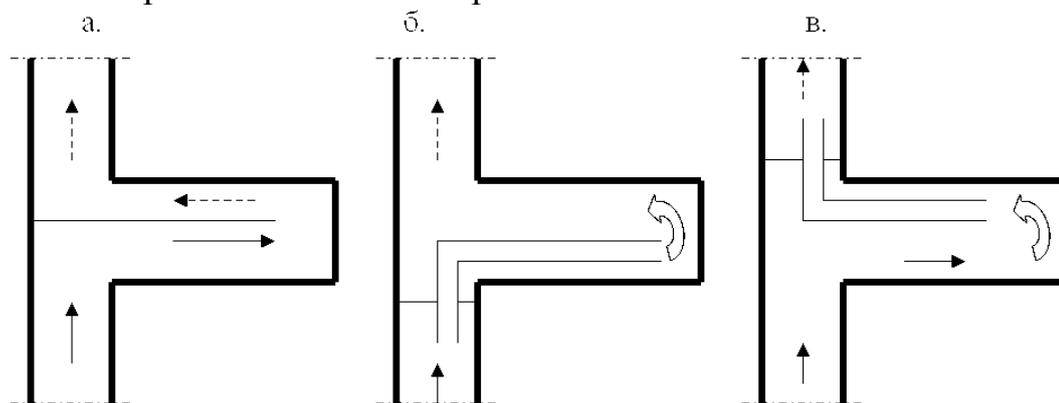


Рис. 14.1 – Схемы проветривания тупиковой выработки с помощью перегородки (а) и жесткой вентиляционной трубы (б, в)

При проведении парных выработок, они сбиваются между собой через определенные промежутки. В меру продвижения забоев, в сбоях между ними, устанавливают вентиляционные сооружения.

14.3 Вентиляция тупиковых выработок с использованием вентиляторов местного проветривания

Применяются следующие способы проветривания: нагнетательный, всасывающий и комбинированный.

Нагнетательный способ проветривания наиболее распространен (рис. 14.2). Он является обязательным для газовых шахт.

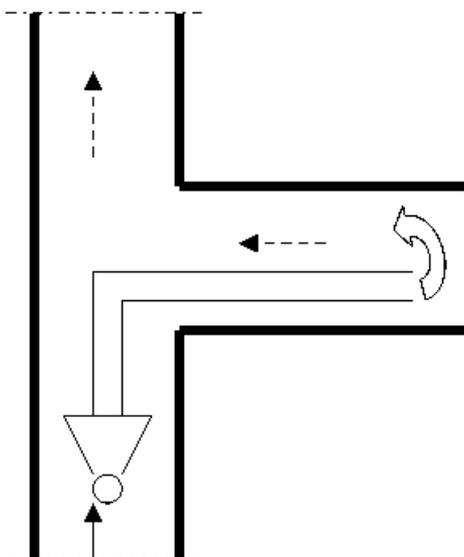


Рис. 14.2 – Схема нагнетательного проветривания тупиковой выработки

Допустимое «отставание» конца трубопровода, расположенного у одной из стенок выработки, от забоя определяется по формуле В.Н. Воронина

$$l \leq 4\sqrt{S_g},$$

где S_g – площадь поперечного перерезу выработки, м².

По Правилам безопасности это расстояние, на газовых шахтах не должно быть больше 8 м (для негазовых – 12 м).

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

При организации этого способа проветривания, Правила безопасности выдвигают определенные требования к месту установки вентилятора местного проветривания и его режиму работы. Так, ВМП не должен устанавливаться ближе 10 м от устья тупиковой выработки, а его подача не должна превышать 70 % от количества воздуха в месте его установки. При этом предусматривается, что ВМП устанавливается в выработке со сквозным проветриванием. Эти ограничения направлены на предотвращение явления опрокидывания потока воздуха на участке между устьем тупиковой выработки и местом установки ВМП. При этом существует опасность возникновения рециркуляции воздуха и метана.

Всасывающее проветривание можно применять на негазовых шахтах. Его главным достоинством является то, что исходящий воздух (в том числе газы, образующиеся в результате взрывных работ) удаляется из выработки по трубопроводу. Однако отставание конца трубопровода от забоя приводит к

образованию застойной, малопрветриваемой зоны. При всасывающем проветривании используются жесткие (металлические) трубопроводы.

При комбинированном способе проветривания можно применить два вентилятора. Один, с коротким трубопроводом, работает на нагнетание и устанавливается вблизи забоя, а второй – работает на всасывание и устанавливается не ближе 10 м от устья выработки. Подача нагнетательного вентилятора должна быть на 20-30 % меньше расхода воздуха, поступающего во всасывающий трубопровод. Этот способ проветривания рекомендуется для применения на негазовых шахтах при скоростной проходке. Он объединяет достоинства всасывающего и нагнетательного способов проветривания. Нагнетательный – обеспечивает активное проветривание призабойного пространства, а всасывающий – удаление исходящего воздуха по трубопроводу.

14.4 Вентиляционное оборудование

Для подачи воздуха в забои подготовительных выработок, используются жесткие и гибкие трубы. Жесткие трубы изготавливают из металла или стеклопластика. Они имеют большую прочность и продолжительный срок службы. К недостаткам жестких труб стоит отнести большую массу, трудности доставки и большое количество стыков. Это усложняет монтаж жестких трубопроводов. Кроме того, наличие большого количества стыков увеличивает потери воздуха из трубопровода. Толщина стенок металлических труб 2-2,5 мм, длина звена 2,5-4 м, диаметр 0,3-1 м и более, масса одного метра 24-70 кг. Звенья труб соединяют с помощью фланцевых болтовых соединений.

Гибкие трубы используют при нагнетательном проветривании. Они изготавливаются из хлопковой или комбинированной (лавсан и хлопок) ткани и покрываются негорючей резиной. Наиболее распространены трубы с диаметром 0,6 и 0,8 м. Длина одного звена 10 и 20 м для труб диаметром $\leq 0,8$ м и $> 0,8$ м соответственно. Звенья соединяют упругими стальными кольцами и хомутами. При работающем вентиляторе местного проветривания стыки звеньев самоуплотняются. Масса одного метра трубы составляет 1,3-2,3 кг.

Текстовинитовые (искусственная кожа из хлопчатобумажной ткани) трубы имеют покрытие из полихлорвиниловой пластмассы. Они имеют малую массу (в сравнении с металлическими) и высокую стойкость к коррозии.

Для уменьшения шероховатости и воздухопроницаемости гибких и жестких труб, в них рекомендуется помещать тонкие полиэтиленовые трубы с меньшим диаметром. Под действием напора, развиваемого вентилятором, полиэтиленовые трубы распрямляются и, прижимаясь к стенкам труб, обеспечивают снижение сопротивления трубопровода в 2-3 раза, практически исключая потери воздуха.

Аэродинамическое сопротивление трубопроводов зависит от его диаметра, длины, качества монтажа и статического давления, которое развивается вентилятором. При слабом натяжении труб и небольшом давлении, величина аэродинамического сопротивления гибкого трубопровода может увеличиться на 25 %. Кроме того, необходимо учитывать, что в реальных условиях трубопровод может иметь несколько поворотов, а сопротивление каждого поворота, равняется сопротивлению 10-20 м трубопровода.

Для подачи воздуха в тупиковые горные выработки применяют, чаще всего, осевые вентиляторы местного проветривания с электрическим или пневматическим приводом. Наибольшее распространение получили вентиляторы типа СВМ, ВМ, ВМП. Вентиляторы типа ВМП имеют пневматический привод. Для проветривания шахтных стволов и выработок большой длины могут использоваться центробежные вентиляторы ВМЦ, ВЦП, ВЦО и ВМЦГ. Подача современных вентиляторов местного проветривания достигает $30 \text{ м}^3/\text{с}$, а депрессия 600-800 даПа.

Обеспечение надежности систем местного проветривания осуществляется с помощью резервирования. Для этого, вместе с основным, устанавливается резервный вентилятор местного проветривания, который, в случае отказа основного вентилятора, автоматически включается в работу. Резервный вентилятор присоединяется к рабочему трубопроводу с помощью специального «тройника», с опрессовочным клапаном, и отрезков гибких труб.

14.5 Особенности местного проветривания с трубопроводами большой длины

В практике проведения подготовительных выработок возможны два основных варианта организации местного проветривания: первый – когда вентилятор (-ры) устанавливаются в устье тупиковой выработки большой длины; второй – когда длина тупиковой выработки небольшая, но вентилятор установлен на значительном расстоянии от ее устья. В обоих случаях, в зависимости от конкретных условий, можно использовать разные способы проветривания:

- один вентилятор, который работает на трубопровод большого диаметра ($> 1\text{м}$) или два параллельных трубопровода;
- два ВМП, каждый из которых работает на свой трубопровод;
- каскадная установка вентиляторов (в начале трубопровода, по мере удлинения тупикового выработки, устанавливают последовательно несколько ВМП (рис. 14.3).

Использование трубопровода большого диаметра или двух трубопроводов, возможно только при проходке выработок большого сечения, где эти трубопроводы не мешают движению шахтного транспорта. Каскадная установка вентиляторов рекомендуется для газовых шахт, потому, что в этом случае все вентиляторы и пусковая аппаратура устанавливаются в выработках со свежей струей воздуха.

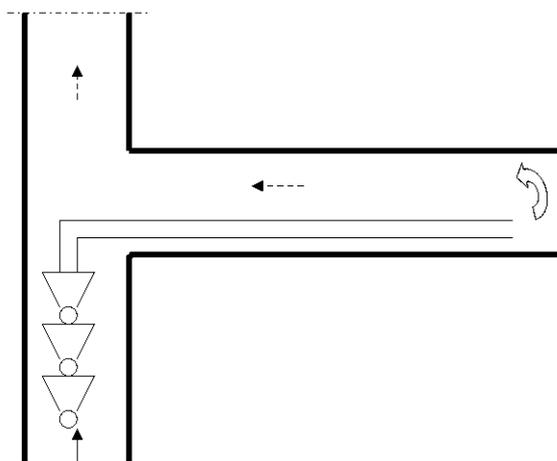


Рис. 14.3 – Схема каскадной установки ВМП

Предварительная оценка необходимого количества вентиляторов в каскаде выполняется по величине необходимой подачи вентилятора (с учетом потерь воздуха по всей длине трубопровода) и депрессии, которая обеспечивает эту подачу. Сначала выбирается вентилятор, рабочая характеристика которого, может обеспечить расчетную подачу, а затем, построив суммарные характеристики 2-3 последовательно работающих вентиляторов, по ординате точки пересечения этой суммарной характеристики с аэродинамической характеристикой трубопровода, можно оценить необходимое количество ВМП в каскаде. В реальных условиях, необходимость добавления в каскад следующего вентилятора контролируется по затрате воздуха, который поступает в забой тупикового выработки.

Применение рассредоточенной схемы установки вентиляторов (ВМП устанавливаются на определенном расстоянии один от одного, по всей длине трубопровода) возможно на негазовой шахте. Однако, на практике, при проходке выработок большой длины, место установки каждого вентилятора, необходимо определять экспериментально, потому, что расчетные методы достаточно приближительны. Кроме того, при каскадной установке, более простое организовать контроль и обслуживание ВМП.

Иногда, при подготовке которой-то части шахтного поля, проходятся сразу несколько тупиковых выработок. В этих случаях, необходимость применения длинных трубопроводов, может возникнуть из-за невозможности установки нескольких вентиляторов в одной выработке, потому, что суммарная подача всех вентиляторов может превысить величину, которая составляет 70 % от расхода воздуха, поступающего в данную выработку. Так, например, в схеме подготовки уклонного поля (рис. 14.4) одновременно проходятся две выработки.

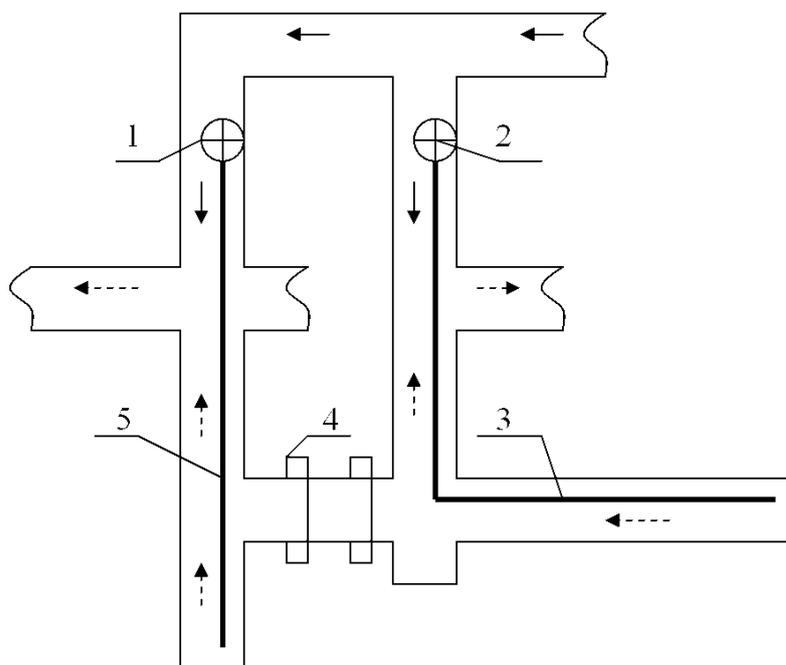


Рис. 14.4 – Схема проветривания тупиковых забоев
1, 2 – ВМП; 3, 5 – трубопроводы; 4 – вентиляционные двери

Во всех случаях ВМП установлены не в устье тупиковой выработки, а на некотором расстоянии от этого устья, в местах, где подача ВМП составляет не менее

70 % от количества воздуха в выработке. При этом длина трубопроводов может составлять до 600-800 м, а непосредственно тупиковая часть – всего 50-70 м. В некоторых схемах вентиляции, там, где устье тупиковой выработки примыкает к выработке с исходящей струей воздуха, вентиляционный трубопровод прокладывается через вентиляционные сооружения (двери, шлюзы), которые разделяют эти струи воздуха.

14.6 Требования ПБ при разгазировании тупиковой выработки

Разгазирование выработок должно производиться в соответствии с «Инструкцией по разгазированию горных выработок, расследованию, учету и предупреждению загазирования».

К загазированию относятся случаи превышения норм концентрации метана в сечении горных выработок в свету и в открытых, незаложенных породой или другими материалами куполах, принимаемые к учету в соответствии Инструкцией.

Инструкция содержит порядок:

- установления факта загазирования горных выработок;
- расследования загазирования;
- учета загазирования горных выработок;
- проведения мероприятий по разгазированию горных выработок;
- разработки мероприятий по предупреждению загазирования горных выработок.

Разгазирование тупиковой выработки осуществляется согласно мероприятий по разгазированию горных выработок, утвержденным техническим руководителем (главным инженером) шахты. Мероприятия по разгазированию горных выработок определяют порядок ведения работ по разгазированию и меры, обеспечивающие безопасность их выполнения:

- снятие напряжения с электрооборудования и кабелей в выработках, по которым будет проходить исходящая струя – на всем отрезке ее пути, включая исходящую струю крыла (шахты), и вывод людей из этой выработки;
- выставление на свежей струе постов и запрещающих знаков в местах возможного подхода людей к выработкам, по которым при разгазировании будет проходить исходящая вентиляционная струя.

В мероприятиях по разгазированию горных выработок указывается способ разгазирования, порядок осуществления непрерывного контроля концентрации метана индивидуальными приборами в исходящей вентиляционной струе загазированной выработки, места и порядок проверки содержания метана в выработках после окончания разгазирования.

Мероприятия по разгазированию горных выработок разрабатываются начальником участка ВТБ до начала проведения подготовительных выработок и отработки выемочных участков и согласовываются с начальником проходческого (добычного) участка. Мероприятия включаются в паспорт проведения и крепления горной выработки и корректируются при изменении условий ведения горных работ.

При изменении предусмотренной паспортом схемы проветривания выработок или схемы энергоснабжения в течение суток после реализации этих изменений

начальником участка ВТБ вносятся соответствующие дополнения в мероприятия по разгазированию горных выработок.

Мероприятия по разгазированию горных выработок доводятся до сведения специалистов и рабочих проходческого (добычного) и других участков шахты, которые ведут горные работы в данной выработке, специалистов участка ВТБ, специалистов, организующих и обеспечивающих ведение горных работ на шахте. По одному экземпляру мероприятий по разгазированию горных выработок находится у диспетчера шахты и у начальника участка ВТБ.

Разгазирование тупиковой (подготовительной) выработок, не проветриваемых менее 30 минут, проводится под руководством специалиста проходческого участка. Разгазирование подготовительных выработок, не проветриваемых более 30 минут, но менее 6 часов, проводится под руководством начальника участка ВТБ (заместителя, помощника) в присутствии начальника проходческого (добычного) участка или его заместителя (помощника).

Для выполнения мероприятий по разгазированию подготовительных выработок применяются разгазирющие устройства.

Порядок работы с устройством для разгазирования тупиковых выработок

Для разгазирования тупиковых горных выработок используется устройство, приведенное на рис. 14.5. Разгазирющее устройство устанавливается в вентиляционном трубопроводе в тупиковой части подготовительной выработки в 5-10 м от ее устья. Устройство представляет собой патрубок 1 цилиндрической или прямоугольной формы с клапаном 2, имеющим уплотнение из пористой резины.

Расход воздуха у забоя выработки регулируется изменением положения клапана 2 с помощью троса 4 и ручной (электрической) лебедки. Лебедка устанавливается в выработке со свежей струей воздуха не менее чем в 20 м от устья подготовительной выработки.

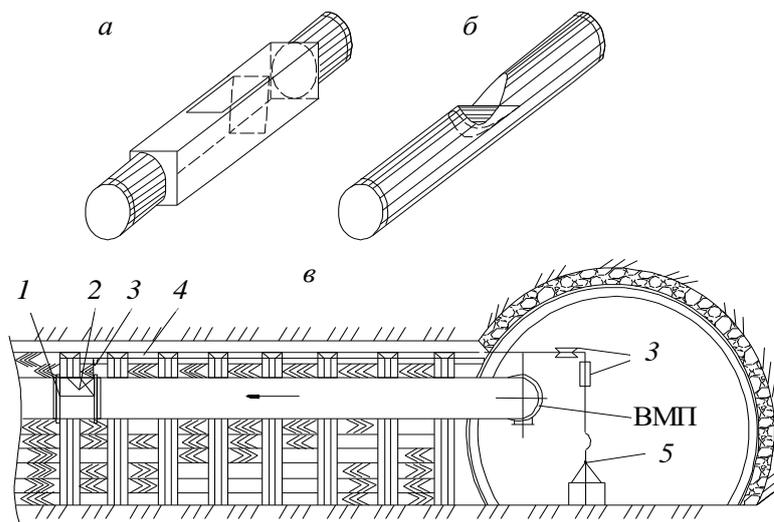


Рис. 14.5 – Устройство для разгазирования тупиковых горных выработок:
а, б – схемы устройства; в – схема установки; 1 – патрубок; 2 – клапан;
3 – ролики; 4 – трос; 5 – ручная (электрическая) лебедка

Порядок разгазирования:

1. обеспечивается перекрытие клапаном 2 сечения патрубка 1;

2. включается в непрерывную работу ВМП;
3. постепенно увеличивается расход воздуха, подаваемого в забой подготовительной выработки;
4. обеспечивается непрерывный контроль концентрации метана переносными приборами контроля в устье подготовительной выработки;
5. при концентрации метана в месте контроля 2 % и более снижается расход воздуха, подаваемого в забой подготовительной выработки.

В выработках, для проветривания которых используются два и более вентиляционных трубопровода, разгазирующее устройство оборудуется на одном из них. Первым включается ВМП, установленный на вентиляционном трубопроводе с разгазирующим устройством. Второй ВМП, установленный на вентиляционном трубопроводе, не имеющем разгазирующего устройства, включается после полного открытия клапана разгазирующего устройства при условии, что концентрация метана в устье подготовительной выработки менее 2 %.

Руководитель работ по разгазированию горных выработок:

1. сообщает горному диспетчеру шахты о выполнении мероприятий и начале работ по разгазированию;
2. обеспечивает содержание метана в исходящей из загазированной выработки вентиляционной струе не более 2 %;
3. после разгазирования горной выработки проверяет содержание метана в разгазированной выработке с помощью переносных приборов контроля;
4. принимает меры для устранения причин, вызвавших загазирование;
5. сообщает горному диспетчеру об окончании разгазирования и устранении причин его вызвавших.

Включение ВМП при разгазировании подготовительных выработок допускается после снижения концентрации метана в месте его установки до 0,5 %. Ведение горных работ в разгазированных выработках возобновляется по решению технического руководителя (главного инженера) шахты после расследования причин загазирования и их устранения.

15. СПОСОБЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ И СХЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ

15.1 Способы проветривания шахт

Способы вентиляции шахт, в зависимости от способа создания необходимого перепада давления (депрессии, компрессии) в горных выработках, разделяются на всасывающий, нагнетательный и комбинированный (нагнетательно-всасывающий). На шахтах Донбасса, в основном, используется всасывающий способ вентиляции.

Сущность всасывающего способа вентиляции заключается в том, что со стороны всасывающей части вентилятора, при его работе, создается разрежение (пониженное, по сравнению с атмосферным, давление). При этом давление воздуха в любой части шахты меньше атмосферного. При остановке вентилятора, воздух будет еще некоторое время поступать в шахту за счет этой разницы давлений. В дальнейшем, после выравнивания давлений, воздух будет поступать в горные выработки только за счет действия естественной тяги (если она не равна нулю).

Всасывающий способ проветривания рекомендуется на всех газовых шахтах, потому, что повышение давления воздуха, при остановке вентилятора, приведет к замедлению процесса газовыделения в горные выработки. Этот способ особенно эффективен при фланговой схеме проветривания, когда отдельные части шахтного поля проветриваются разными вентиляторами. Вместе с тем, при фланговой схеме проветривания с несколькими вентиляторами, усложняется регулирование распределения воздуха между отдельными частями шахты.

Всасывающий способ проветривания рекомендуется применять при глубине разработки более 200 м, когда отсутствуют аэродинамические связи горных выработок с поверхностью. При данном способе проветривания необходимо систематически осматривать и очищать канал вентилятора от рудничной пыли.

К достоинствам нагнетательного способа проветривания относятся: возможность применения одной главной вентиляционной установки для разветвленной шахтной вентиляционной сети, устойчивость работы главного вентилятора и возможность эффективного регулирования распределения воздуха в шахте. Главным недостатком этого способа проветривания является опасность увеличения газовыделения в горные выработки после остановки вентилятора главного проветривания.

Нагнетательно-всасывающий способ проветривания шахт позволяет создавать в вентиляционной сети зоны «нулевого» давления. В этих частях шахты давление в горных выработках равняется атмосферному (давлению на поверхности), в результате чего, отсутствуют утечки воздуха между выработками и поверхностью. При одновременной работе части вентиляторов на нагнетание, а части – на разрежение, в одних выработках создается повышенное (в сравнении с атмосферным), а в других – пониженное давление. Этот способ проветривания рекомендуется при значительной протяженности горных выработок и разработке самовозгорающихся углей при наличии аэродинамических связей между горными выработками и поверхностью. Недостаток – сложность управления проветриванием.

15.2 Схемы вентиляции угольных шахт

При выборе схем вентиляции необходимо стремиться максимально использовать для проветривания выработки, предназначенные для других целей

(для транспортировки, подъема и др.). Чтобы уменьшить общее аэродинамическое сопротивление шахты, воздушные потоки следует разделять на максимально возможное число параллельных ветвей. Все очистные и подготовительные забои и другие места работы должны проветриваться свежей вентиляционной струей. Выработки, по которым подается свежий воздух, должны иметь как можно меньше пересечений с выработками, по которым проходит исходящая струя. Это позволяет уменьшить число вентиляционных сооружений (шлюзов, кроссингов и т.д.). Запрещается подача воздуха в шахту по скиповым и наклонным стволам, оборудованным конвейерами, на шахтах, опасных по пыли, а также отвод воздуха через обрушенные зоны и завалы. Должны соблюдаться допустимые минимальные и максимальные скорости движения воздуха в выработках.

Схемы вентиляции, в зависимости от числа и взаимного расположения выработок, по которым подается свежий и удаляется загрязненный воздух, можно разделить на центральные, фланговые и комбинированные.

Центральные схемы, в свою очередь, разделяются на: центрально-сдвоенные и центрально-отнесенные. В первом случае воздухоподающий и воздуховыдающий стволы располагаются в центре шахтного поля (рис. 15.1). Свежий воздух распределяется на крылья шахтного поля, а затем, проходя по очистным и подготовительным забоям, возвращается к воздуховыдающему стволу. Расстояние между стволами составляет 30-100 м. Эта схема применяется при глубине ведения горных работ более чем 200 м.

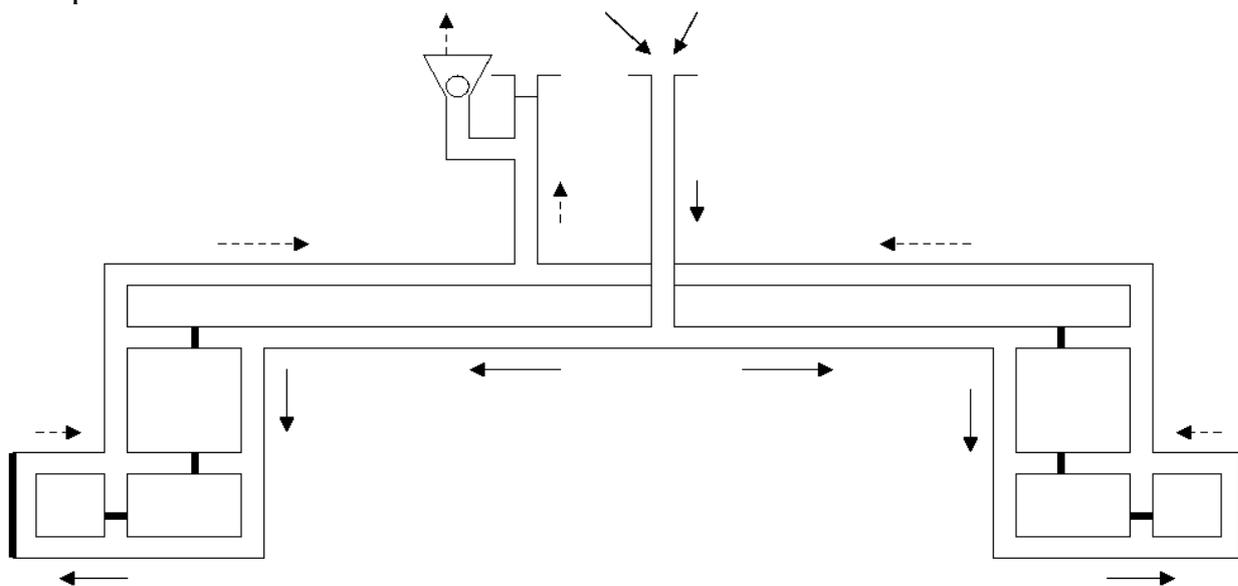


Рис. 15.1 – Центрально-сдвоенная схема вентиляции шахты

Центрально-отнесенная схема может применяться при отработке верхней части шахтного поля (рис. 15.2), например, бремсбергового поля. Здесь, стволы могут располагаться на значительном расстоянии друг от друга.

Преимущества центральных схем – относительно небольшие капитальные расходы, быстрое введение шахты в эксплуатацию, одна вентиляторная установка, незначительные потери угля, в целиках, простота управления проветриванием. Недостатки – высокая депрессия шахты при центрально-сдвоенной схеме (т.к. воздух, пройдя к объектам проветривания, возвращается к стволу, расположенному в центре шахтного поля), большие внутренние утечки воздуха, отсутствие резерва

возможностей регулирования режима работы вентилятора, с учетом возможного увеличения сопротивления шахтной вентиляционной сети.

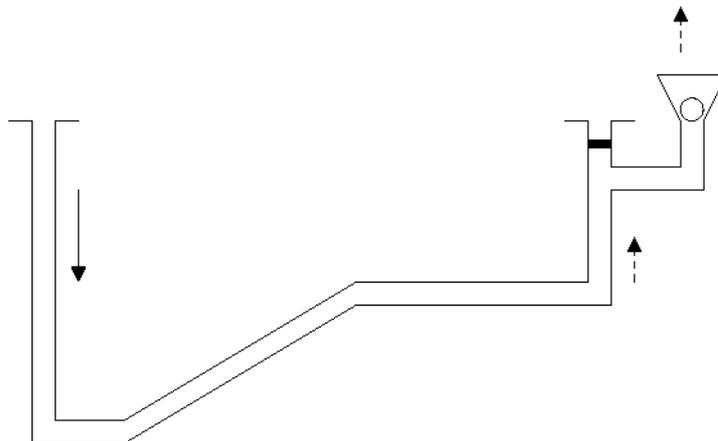


Рис. 15.2 – Центрально отнесенная схема вентиляции шахты

При вскрытии шахтного поля в центре и на его границах, применяются фланговые (диагональные) схемы проветривания шахт. Эти схемы проветривания можно отнести к прямоточным. Воздух поступает в шахту в центре шахтного поля, распределяется по отдельным крыльям и, после проветривания очистных забоев, удаляется через фланговые стволы. Среди всех разновидностей фланговых схем вентиляции можно выделить крыльевую, групповую и участковую (рис. 15.3).

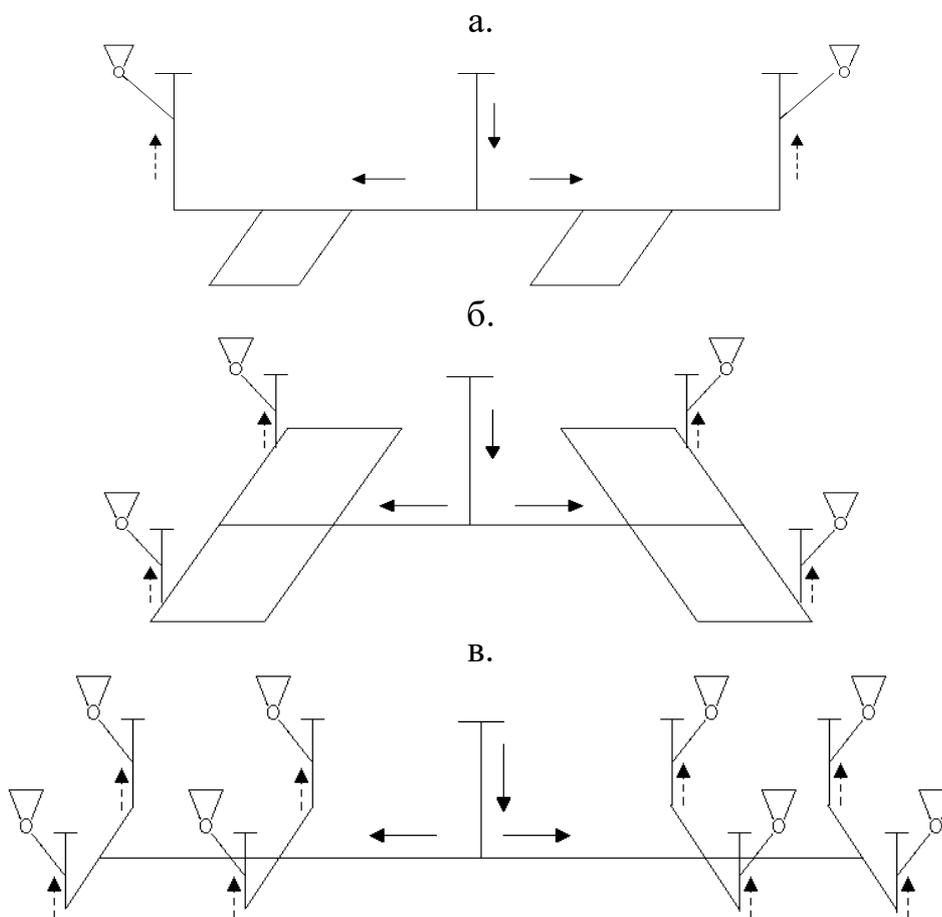


Рис. 15.3 – Фланговые схемы вентиляции шахт:
а – крыльевая; б – групповая; в – участковая

К преимуществам фланговых схем вентиляции относятся минимальные потери воздуха, при его следовании от стволов к очистным забоям, сокращению внешних утечек (подсосов) воздуха, потому, что фланговые стволы, как правило, не используются для транспортировки грузов (в устьях этих стволов можно обеспечить качественную герметизацию), снижение общешахтной депрессии (за счет сокращения пути следования воздуха), меньшие требования к резерву глубины регулирования вентиляторов.

Недостатки фланговых схем – большие капитальные затраты (начало очистных работ возможно только после проведения выработок до границ шахтного поля), увеличение потерь полезного ископаемого в охранительных целиках около стволов, большое количество вентиляторных установок, трудности общешахтного реверсирования.

В комбинированных схемах вентиляции (рис. 15.4) используются элементы центральных и фланговых схем. Так, например, один воздуховыдающий ствол может располагаться в центре шахтного поля, а другие – на флангах. При этом исходящая вентиляционная струя из выемочных участков, расположенных в центре шахтного поля, выдается по центральному стволу, а из участков, расположенных на флангах, – по фланговым стволам.

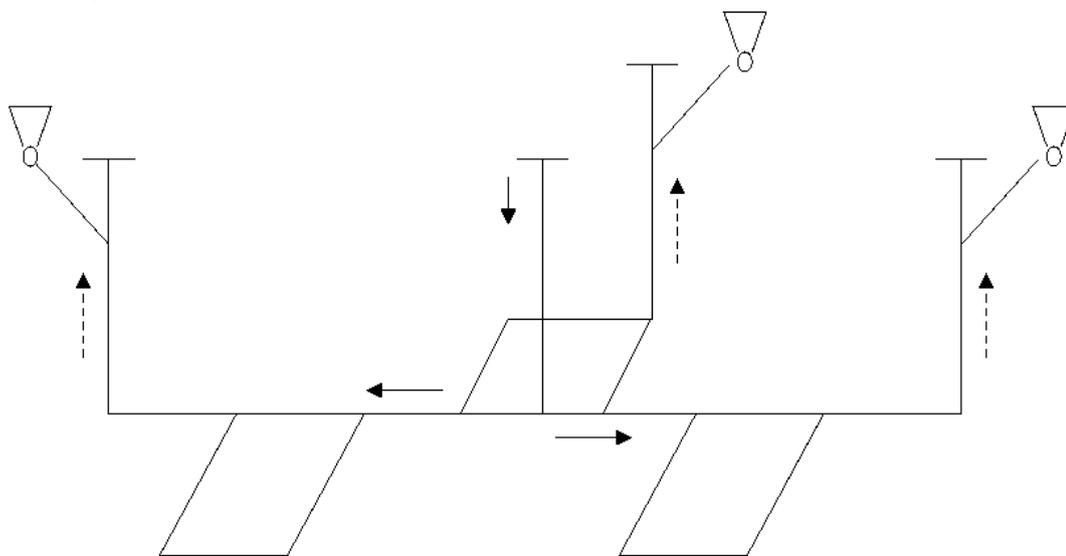


Рис. 15.4 – Комбинированная схема вентиляции шахты

В комбинированной секционной схеме проветривания, на больших шахтах, каждая секция имеет свой воздуховыдающий ствол, а в центре воздухоподающие стволы и скиповый ствол – общий для всех секций. Выработки каждой секции проветриваются обособленной струей воздуха. На больших шахтах для подачи и отвода воздуха могут использоваться до десятка стволов. К преимуществам комбинированных схем вентиляции можно отнести небольшую депрессию вентиляторов главного проветривания, повышение надежности проветривания отдельных участков шахты, простота регулирования распределения воздуха в пределах отдельных участков, большое количество запасных выходов из шахты. Недостатки этих схем – сложность вентиляционной сети, сложность общешахтного регулирования распределения воздуха и большие капитальные затраты.

16. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ

16.1 Способы и схемы проветривания шахты

Основным способом проветривания считается всасывающий. Он рекомендуется для всех газовых шахт. Нагнетательный – для негасовых или для газовых шахт с метанообильностью не более 10 м³/т, при отработке первого этажа горных выработок, имеющих связь выработанных пространств с поверхностью. Нагнетательно-всасывающий способ вентиляции рекомендуется в случае потребности уменьшить утечки воздуха через выработанные пространства, связанные с поверхностью.

Наиболее распространенная – фланговая схема проветривания. Она рекомендуется при больших размерах выемочных полей, при разработке газоносных, склонных к самовозгоранию пластов. Центральные схемы применяют при небольшой длине выемочных полей (до 2 км).

16.2 Расчет расхода воздуха для проветривания шахты

Расход воздуха, необходимый для проветривания шахты ($Q_{ш}$), состоит из суммарных расходов воздуха, которые идут на проветривание выемочных участков ($Q_{уч}$), тупиковых выработок ($Q_{т.в}$), погашаемых выработок ($Q_{пог.в}$), поддерживаемых выработок ($Q_{под.в}$), камер ($Q_{к}$) и на утечки воздуха ($Q_{ум}$) через вентиляционные сооружения, за пределами выемочных участков. В формуле учитывается коэффициент неравномерности воздухораспределения, равный 1,1.

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

Величина $Q_{ш}$ при проектировании новой шахты должна удовлетворять условию

$$Q_{ш} \geq 133,3(\Sigma \bar{I}_{уч} + \Sigma \bar{I}_{т.в} + \Sigma \bar{I}_{сш} + \Sigma \bar{I}_{о.в}).$$

Величины абсолютных средних газовыделений для выемочных участков ($\Sigma \bar{I}_{уч}$), тупиковых выработок ($\Sigma \bar{I}_{т.в}$), из старых выработанных пространств ($\Sigma \bar{I}_{сш}$), погашаемых и поддерживаемых выработок ($\Sigma \bar{I}_{о.в}$) определяются на основании прогноза метанообильности по метаноносности угольных пластов.

16.2.1 Расход воздуха для проветривания выемочных участков.

Для схем типа 1-В в случае выполнения условия

$$\frac{\bar{I}_{уч}}{\bar{I}_{оч}} \leq \frac{k_{ум.в}}{k_{о.з}},$$

расчет ведется по формуле

$$Q_{уч} = Q_{оч} \frac{k_{ум.в}}{k_{о.з}},$$

где $k_{ум.в}$ – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство в пределах выемочного участка;

$k_{о.з}$ – коэффициент, учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства, непосредственно прилегающее к призабойному.

В случае невыполнения условия, а также для схем всех других типов, расчет ведется по формуле

$$Q_{yч} = \frac{100\bar{I}_{yч}k_n}{C - C_0},$$

где k_n – коэффициент неравномерности метановыделения;

$\bar{I}_{yч}$ – ожидаемое среднее метановыделение в выработки выемочного участка, м³/мин;

C – допустимая, согласно ПБ, концентрация метана в исходящей струе участка;

C_0 – концентрация метана в поступающей струе; для проектируемых участков принимается 0,05 %.

16.2.2 Расходы воздуха для проветривания очистных забоев.

Для схем типа 1-М расход воздуха по газовыделению рассчитывается по формуле

$$Q_{оч} = Q_{yч} \frac{k_{o.з}}{k_{yч.г}},$$

а для схем всех других типов, расчет ведется по формуле

$$Q_{оч} = \frac{100\bar{I}_{оч}k_n}{C - C_0},$$

где $\bar{I}_{оч}$ – ожидаемое среднее метановыделение в очистную выработку, м³/мин.

Следует учитывать, что при разных значениях $\bar{I}_{оч}$ и $\bar{I}_{yч}$, значения k_n также будут различными.

Расход воздуха по газам, которые образуются при выполнении взрывных работ, рассчитывается по формуле

$$Q_{оч} = \frac{34}{T} \sqrt{B_{yз} V_{оч}} k_{o.з},$$

где T – время проветривания выработки, мин;

$B_{yз}$ – масса ВВ, одновременно взрываемого по углю, кг;

$V_{оч}$ – объем проветриваемой очистной выработки, м³.

Расход воздуха по количеству людей рассчитывается по формуле

$$Q_{оч} = 6n_{чел} k_{o.з}.$$

Расход воздуха при условии оптимальной скорости воздуха по пылевому фактору рассчитывается по формуле

$$Q_{оч} = 60S_{оч.мин} V_{онм} k_{o.з},$$

где $V_{онм}$ – оптимальная скорость воздуха; принимается 1,6 м/с.

Окончательно принимается максимальный результат и выполняется проверка по формуле

$$60S_{оч.макс} V_{мин} k_{o.з} \leq Q_{оч} \leq 60S_{оч.мин} V_{макс} k_{o.з}.$$

16.2.3 Расход воздуха для проветривания призабойного пространства подготовительной выработки.

Расход воздуха по газовыделению, когда проходка ведется комбайном или отбойными молотками, рассчитывается по формуле

$$Q_{з.п} = \frac{100I_{з.п}}{C - C_0},$$

где $I_{з.п}$ – метановыделение в призабойное пространство тупиковой выработки, м³/мин,

а при взрывном способе, по формуле

$$Q_{з.н} = \frac{S \cdot l_{з.мп}}{k_{м.д}} \left[\frac{71 \cdot I_{з.н.макс}}{S \cdot l_{з.мп} (C_{макс} - C_0) + 18 \cdot I_{з.н.макс}} \right]^2,$$

где S – площадь поперечного сечения выработки, m^2 ;

$l_{з.мп}$ – расстояние от конца трубопровода до забоя, m ;

$k_{м.д}$ – коэффициент турбулентной диффузии; принимается 1, а при $S > 10 m^2 - 0,8$;

$I_{з.н.макс}$ – максимальное метановыделение в забое после взрывания по углю, $m^3/мин$;

$C_{макс}$ – максимально допустимая концентрация метана в призабойном пространстве после взрывания по углю; принимается 2 %.

Расход воздуха по газам, которые образуются при взрывных работах рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = \frac{2,25}{T} \sqrt[3]{\frac{V_{ВВ} \bar{S}^2 l_n^2 k_{обв}}{k_{м.мп}^2}},$$

где $V_{ВВ}$ – объем вредных газов, которые образуются после взрывания, $л$;

\bar{S} – средняя площадь поперечного сечения выработки, m^2 ;

l_n – длина тупиковой части выработки, m ;

$k_{обв}$ – коэффициент обводненности выработки;

$k_{м.мп}$ – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через вентиляционный трубопровод.

Расход воздуха по количеству людей рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = 6n_{чел.з.н},$$

где $n_{чел.з.н}$ – максимальное количество людей в призабойном пространстве выработки.

Расход воздуха по минимальной скорости (согласно ПБ) воздуха рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = 60V_{н.мин} S.$$

Расход воздуха по его минимальной скорости (в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха) рассчитывается по формуле

$$Q_{з.н} = 20V_{з.мин} S.$$

Окончательно принимается максимальный результат.

16.2.4 Расход воздуха для проветривания всей подготовительной выработки.

Расход воздуха по газовыделению рассчитывается по формуле

$$Q_n = \frac{100 I_n k_{н.н}}{C - C_0},$$

где I_n – абсолютное метановыделение проектируемой тупиковой выработки, $m^3/мин$,

$k_{н.н}$ – коэффициент неравномерности метановыделения; для Донбасса принимается 1.

Расход воздуха по количеству людей рассчитывается по формуле

$$Q_n = 6n_{чел.н},$$

где $n_{чел.н}$ – максимальное количество людей, которые одновременно работают в выработке.

Окончательно принимается максимальный результат.

16.2.5 Выбор средств проветривания подготовительной выработки.

Подача вентилятора рассчитывается по формуле

$$Q_v = Q_{з.н} k_{ум.мп}.$$

Давление вентилятора, который работает на гибкий или комбинированный трубопровод рассчитывается по формуле

$$h_g = Q_g^2 R_{mp.g} \left(\frac{0,59}{k_{ум.мп}} + 0,41 \right)^2,$$

где $R_{mp.g}$ – аэродинамическое сопротивление гибкого трубопровода, даПа \cdot с²/м⁶.

Аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода рассчитывается по формуле

$$R_{mp.g} = r_{мп} \cdot (L_{мп} + 20 \cdot D_{мп} \cdot n_1 + 10 \cdot D_{мп} \cdot n_2),$$

где $r_{мп}$ – аэродинамическое сопротивление 1м трубопровода, даПа \cdot с²/м⁷;

$L_{мп}$ – длина трубопровода, м;

$D_{мп}$ – диаметр трубопровода, м;

n_1 – число поворотов трубопровода на 90°;

n_2 – число поворотов трубопроводов на 45°;

Q_g и h_g – это координаты расчетной точки на аэродинамической характеристике ВМП. Далее определяются координаты рабочей точки, и проверяется расход воздуха в начале подготовительной выработки.

16.2.6 Расход воздуха для погашаемых и поддерживаемых выработок.

Если погашается выемочный участок, то расход воздуха рассчитывается по фактическому газовыделению. При отсутствии этих данных, расход воздуха принимается как половина расхода, необходимого для проветривания действующего участка.

Для всех других, и для поддерживаемых выработок (те, которые не используются для подачи свежего воздуха и удаления отработанного), расчет ведется по минимальной скорости воздуха.

$$Q_{под.в} = 60V_{min} S.$$

Величина V_{min} для проектируемых шахт III категории и выше – 0,25 м/с, кроме транспортных выработок. Для главных транспортных выработок с ленточными конвейерами – 0,7-1,3 м/с. Для поддерживаемых выработок, с длиной не более 30м, с дверями расход воздуха производится по нормам утечек.

16.2.7 Расход воздуха для проветривания камер.

Необходимый расход воздуха для проветривания склада ВМ

$$Q_{ВМ} = 0,07 V_k,$$

где V_k – суммарный объем выработок склада ВМ.

Расход воздуха для зарядных камер ведется по формуле

$$Q_{з.к} = \frac{31 \cdot 10^{-4} \sum_{i=1}^{n_б} E_i n_{ai}}{26 - t_{ex}},$$

где E_i – емкость аккумулятора, А \cdot ч;

n_{ai} – число аккумуляторов в батарее;

$n_б$ – число одновременно заряжаемых батарей.

При этом должно выполняться условие

$$Q_{з.к} \geq \sum_{i=1}^{n_b} 30n_{\sigma_i} k_{\sigma_i},$$

где k_{σ_i} – коэффициент, который учитывает тип заряжаемой батареи.

Для машинных камер и электрооборудования расчет ведется по отдельной формуле.

16.2.8 Утечки воздуха через вентиляционные сооружения

Величина утечек воздуха через вентиляционные сооружения за пределами выемочных участков ($Q_{ут.ш}$), рассчитывается как сумма утечек воздуха через глухие перемычки ($\Sigma Q_{ут.г}$), шлюзы ($\Sigma Q_{ут.шл}$), кроссинги ($\Sigma Q_{ут.кр}$ – норма утечки через шлюз увеличенная в 1,25 раза) и загрузочные устройства ($\Sigma Q_{ут.заг}$)

$$Q_{ут.ш} = \Sigma Q_{ут.г} + \Sigma Q_{ут.шл} + \Sigma Q_{ут.кр} + \Sigma Q_{ут.заг}.$$

Если вентиляционное сооружение состоит из нескольких перемычек, то это учитывается соответствующим коэффициентом. Он принимается равным 0,76 при двух перемычках, 0,66 – при трех и 0,57 – при четырех. Кроме того, если перепады давлений на вентиляционных сооружениях неизвестны, то нормы утечек для сооружений в магистральных выработках шахты увеличиваются в 1,33 раза, а в околоствольных дворах – 1,45 раза.

Норма утечки через загрузочное устройство зависит от того, имеет ли оно бункер и расположено на участке или в околоствольном дворе.

16.3 Подача вентиляторных установок главного проветривания.

Подача вентиляторной установки (внешние утечки-подсосы воздуха рассчитаны по нормам) определяется по формуле

$$Q_v = Q_{ши} + \Sigma Q_{ут.вн},$$

где $Q_{ши}$ – расход воздуха из шахты, который поступает к данному вентилятору; $\Sigma Q_{ут.вн}$ – утечка (подсос) воздуха в устье ствола и в канале вентилятора.

Если утечки учитываются коэффициентом внешних утечек, то подача вентилятора равна

$$Q_v = Q_{ши} k_{ут.вн}.$$

С учетом резерва подачи воздуха

$$Q_{в.р} = 1,14 Q_v.$$

Нормы внешних утечек (подсосов) отвечают перепаду давления 200 даПа. Для других перепадов они пересчитываются по формуле

$$Q_{ут.вн} = Q_{ут.н} \sqrt{\frac{h}{200}}.$$

При нагнетательном проветривании утечки нужно увеличить на 13 %.

16.4 Расчет депрессии шахты

Максимальная статическая депрессия сети, на которую работает ВГП (депрессия шахты) ограничивается величиной 300 даПа. Для сверхкатегорийных, опасных по выбросам шахт и с мощностью, более 4000 т в сутки – до 450 даПа. На действующих шахтах при доработке запасов последних этажей сроком 15-20 лет и глубине более 700 м и для шахт, которые разрабатывают пласты не склонные к самовозгоранию, допускается – 800 даПа.

Депрессия шахты принимается по максимальной депрессии направления (маршруту) через очистные выработки.

Депрессия направления определяется по формуле

$$h_n = h_{n,в} + h_{к,в} + h_к + h_{к,к},$$

где $h_{n,в}$ – депрессия подземных выработок направления, находится как сумма депрессий последовательно соединенных ветвей направления от устья воздухоподающего ствола, до входа в канал вентилятора, с учетом коэффициента 1,1 – местных сопротивлений;

$h_{к,в}$ – депрессия канала вентиляторной установки принимается 0,11 $h_{n,в}$ или по специальным нормативам;

$h_{к,в}$ и $h_{к,к}$ – депрессии воздухонагревателя и канала воздухонагревателя.

Депрессия лавы рассчитывается по формуле

$$h_{оч} = R_{оч} Q_{оч}^2,$$

где $R_{оч}$ и $Q_{оч}$ – соответственно, аэродинамическое сопротивление лавы и расход воздуха в ней.

Для лав с механизированным креплением аэродинамическое сопротивление лавы определяется по формуле

$$R_{оч} = 0,01 r_{100} l_{оч} + \frac{0,0612 (\xi_{вх} + \xi_{вых})}{S_{оч}^2},$$

где r_{100} – удельное сопротивление лавы длиной 100 м;

$l_{оч}$ – длина лавы, м;

$\xi_{вх}$, $\xi_{вых}$ – (читается – кси) коэффициенты местных сопротивлений входа и выхода из лавы. Они зависят от того, как пройдены и как поддерживаются участковые выработки, а также от соотношения сечения этих выработок и лавы.

Сопротивление выработок можно рассчитать, используя коэффициент аэродинамического сопротивления и геометрические параметры выработки

$$R = \alpha P_g l_g / S^3,$$

где P_g и l_g – периметр и длина выработки, м.

Депрессия рассчитывается по годам или наиболее характерным периодам развития горных работ. Расчет выполняется для каждого пласта. Максимальная депрессия, как правило, определяется для предпоследнего яруса в панели (выемочном поле). Ее величина не должна превышать отмеченные пределы.

При принятии максимальной депрессии более 450 даПа, подача воздуха на выемочный участок должна выполняться по двум выработкам – по схемам с обособленным разбавлением вредностей, с автоматическими шлюзами между свежей и исходящей струей.

16.5 Выбор вентилятора главного проветривания

Исходными данными, для выбора ВГП, является необходимая величина его подачи и депрессия, для начального (Q_n , h_n) и конечного (Q_k , h_k) периодов эксплуатации шахты. Выбор осуществляется по характеристикам вентиляторов (рис. 16.1), в пределах их области промышленного использования (ОПИ). Рабочие точки, с параметрами Q_n , h_n и Q_k , h_k , должны лежать в пределах ОПИ, с учетом резерва и возможности работы вентиляторов с оптимальным коэффициентом полезного действия.

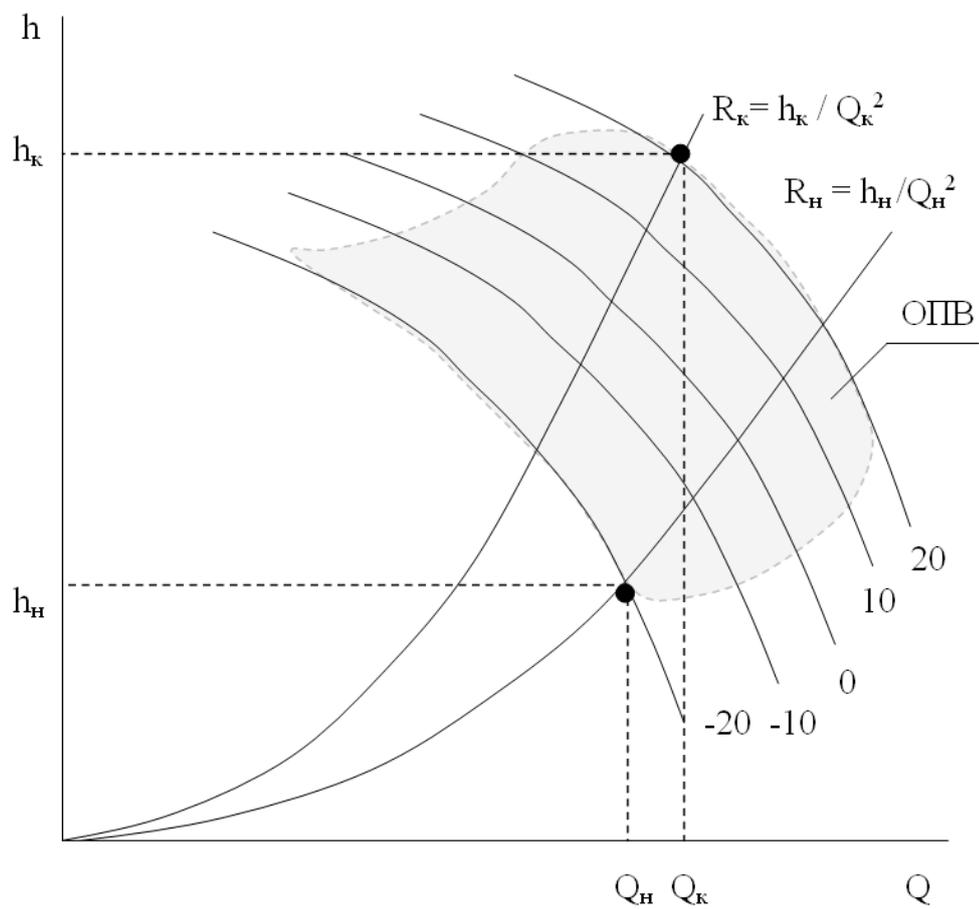


Рис. 16.1 – Область промышленного использования вентилятора

17. УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

17.1 Общие положения

Устойчивость проветривания – это способность вентиляционной сети сохранять заданные расходы и направление движения воздуха в горных выработках, при изменении сопротивлений отдельных элементов вентиляционной сети.

Неустойчивое проветривание опасно для выработок с источниками газовыделения (очистные и подготовительные забои, выработки примыкающие к выработанному пространству). Опасность заключается в возникновении угрозы формирования взрывоопасных концентраций метана и взрыва, в случае непредвиденного увеличения сопротивления выработки (обрушение) или его уменьшения (открывание вентиляционных дверей в шлюзе, при доставке материалов).

Опасность опрокидывания вентиляционной струи существует в выработках-диагоналях. Это выработки, в которых, направление движение воздуха может измениться на противоположное, при изменении сопротивления других ветвей. Примеры простого (а) и сложного (б) диагональных соединений приведенные на рис. 17.1.

Основное правило выявления диагонали: если при движении от начала сети (или ее части) в ее конец можно пройти по какой-то ветви в прямом и обратном направлении, не заходя дважды в одну и ту же ветвь, то такая ветвь является диагональю.

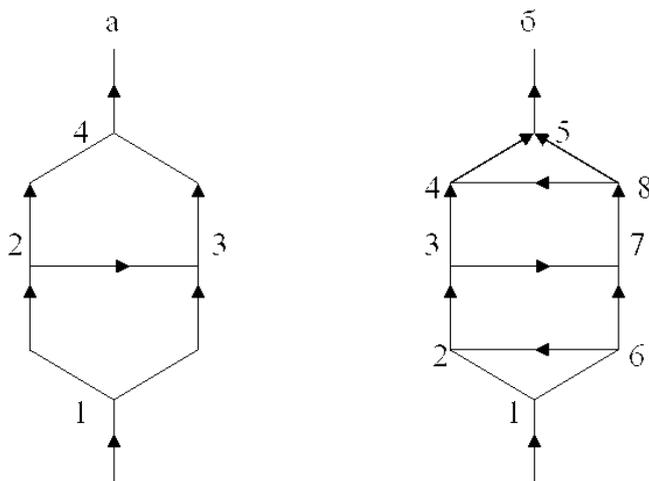


Рис. 17.1 – Схемы диагональных соединений: а – простого, б – сложного

Все горные выработки, которые составляют шахтную вентиляционную сеть, по их влиянию на расход и направление движение воздуха в конкретной выработке (диагонали) разделяются на опасные по увеличению сопротивления и опасные по уменьшению сопротивления. К первым относятся ветви, по которым воздух подводится к началу диагонали и отводится от конца этой выработки. Например, 1-2, 3-4 (рис. 17.1 а). Вторая группа представлена ветвями 1-3, 2-4. Все эти ветви, изменение сопротивления которых, может привести к резкому уменьшению расхода воздуха и опрокидыванию вентиляционной струи в выработке-диагонали, называются определяющими. Влияние определяющих ветвей на режим проветривания диагонали зависит от удаления этих ветвей от диагонали.

Сложным диагональным соединением считается соединение, содержащее несколько диагоналей. В вентиляционных сетях шахт, транспортных тоннелей и метрополитенов встречаются вентиляционные соединения с двумя и тремя диагоналями. Такие соединения состоят из 5-8 узлов и 7-8 ветвей. Типы схем вентиляционных соединений с двумя диагоналями, которые существуют в современных вентиляционных сетях (рис. 17.2), имеют следующий вид: закрытое симметричное (а), полузакрытое симметричное (b), полуоткрытое симметричное (с), открытое симметричное (d), закрытое асимметричное (е). Диагоналями, в соответствующих схемах, является ветви 7, 8, 15, 16, 23, 24, 31, 32, 38, 39.

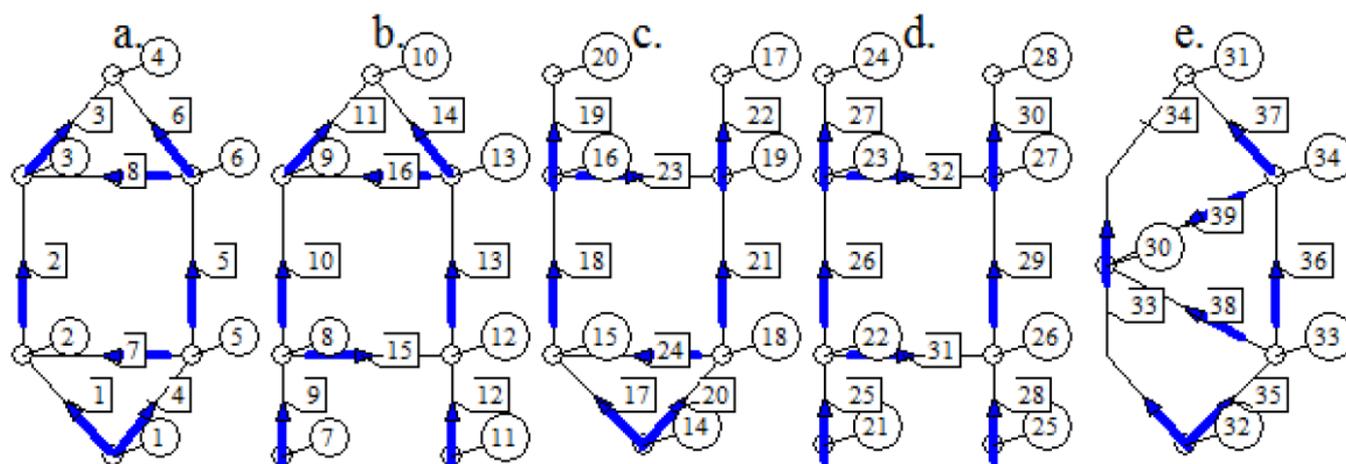


Рис. 17.2 – Схемы сложных вентиляционных соединений с двумя диагоналями

В соединениях с несколькими диагоналями опасными, в случае увеличения или уменьшения сопротивления, могут быть и сами диагонали. Так, например, увеличение сопротивления ветви-диагонали 8 (рис. 17.2а) может привести к изменению направления движения воздуха в диагонали 7, а уменьшение сопротивления диагонали 7 – к опрокидыванию потока воздуха в диагонали 8. Кроме того, опасными для диагонали 8, с точки зрения уменьшения сопротивления, является ветви 1, 2, 6. Опасными для диагонали 8, с точки зрения увеличения сопротивления, являются ветви 3, 4, 5. Для диагонали 7 опасными, в случае увеличения сопротивления, являются ветви 2, 3, 4. Из этого можно сделать вывод, что в соединении с двумя диагоналями, все ветви могут быть опасными, то есть, изменение их сопротивления может влиять на направление движения воздуха в диагоналях.

В уклонных полях, с двумя воздухоподающими выработками, как правило, все участки воздухоподающей наклонной выработки, связанной сбоями с исходящей струей, являются диагоналями. Кроме того, диагоналями являются все сбойки между выработками с одинаковым направлением движения воздуха. В зависимости от особенностей соединения горных выработок в вентиляционной сети, все диагонали можно разделить на три группы: между выработками со свежей и исходящей струями, между двумя свежими потоками воздуха и между двумя выработками с исходящими потоками. Наиболее опасными являются диагонали между выработками со свежим и исходящим потоками воздуха.

Определение устойчивости по расходу и направлению движения воздуха выполняется для очистных и тупиковых выработок и выработок с подсвежающими

потоками на выемочных участках. Оценка устойчивости по направлению должна проводиться также для выработок, с утечками воздуха через вентиляционные сооружения, между выемочными участками.

Схемы проветривания, по степени устойчивости, разделяются на три категории.

Первая – с высокой степенью устойчивости. Это вентиляционные сети без диагоналей и с диагоналями, в которых опрокидывание практически невозможно. К этой категории относятся схемы вентиляции, в которых, при изменении сопротивлений выработок, изменение расхода воздуха в выемочных участках не превышает 20 %, у всаса ВМП – 10 % от расчетного расхода воздуха.

Вторая – со средней степенью устойчивости. Это сети с диагоналями, в которых возможно изменение направления движения воздуха в аварийных условиях. В этих схемах изменения расходов воздуха находятся в пределах: для выработок выемочных участков 20-50 %, у всаса ВМП – 10-30 % от расчетного.

Третья – с низкой степенью устойчивости. Расходы воздуха в выемочных участках уменьшаются более чем на 50 %, у всаса ВМП – более 30 % от расчетного. Возможно опрокидывание вентиляционной струи в диагоналях при нормальной работе шахты.

Определение устойчивости проветривания выполняется на заключительной стадии проектирования шахты, участка, а также, при введении в эксплуатацию новых лав, или при изменении схемы вентиляции действующей шахты.

17.2 Расчет устойчивости проветривания с применением ПЭВМ

Для расчета может использоваться программа расчета естественного или нормального воздухораспределения. Оценка опасности закорачивания (уменьшение сопротивления выработок с вентиляционными дверями) выполняется путем моделирования уменьшения сопротивления выработки. Величина сопротивления выработки с открытыми дверями определяется по результатам измерений в шахте, или рассчитывается. Это сопротивление определяется как сумма, которая состоит из сопротивления выработки и сопротивлений проемов открытых дверей. Для вентиляционных сооружений сопротивление открытых дверей (шлюзов) принимается в 100 раз меньше нормального (сопротивление открытых дверей можно определять по формуле для вентиляционного окна). Величина максимального увеличения сопротивления выработок выемочного участка составляет: вентиляционной – в 7 раз, транспортной и лавы – в 15 раз.

После моделирования распределения воздуха, с измененными параметрами горных выработок, анализируются результаты расчетов, и определяется категория устойчивости схемы проветривания.

17.3 Экспериментальная оценка устойчивости проветривания

При экспериментальной оценке опасности нарушения устойчивости проветривания выработок выемочного участка, в первую очередь, исследуются последствия возможного закорачивания вентиляционных струй, через вентиляционные сооружения, расположенные в выработках, примыкающих к выемочному участку. Так, например (рис. 17.3), перед сдачей в эксплуатацию

выемочного участка, необходимо проверить последствия закорачивания вентиляционной струи через шлюзы в выработках 2-3 и 5-3.

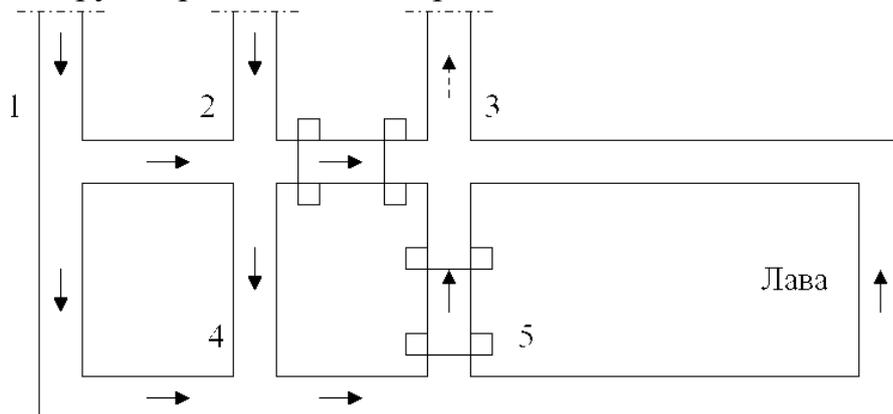


Рис. 17.3 – Схема вентиляции выемочного участка

Экспериментальная оценка устойчивости на газовых шахтах, связана с определенным риском. Такая оценка проводится только для вентиляционных сооружений (шлюзов). Она проводится по специальному плану, утвержденному главным инженером шахты, в выходные или праздничные дни, после выхода всех людей из шахты (выемочного поля). В перечень мероприятий, которые обеспечивают экспериментальное определение устойчивости, включаются и мероприятия, которые обеспечивают безопасность ведения работ.

Продолжительность одного режима составляет 10-12 мин, чтобы за это время можно было сделать 3-5 измерений расхода воздуха в выработке, а всего опыта – 30 мин. При повышении концентрации газа выше нормы, восстанавливают нормальное проветривание, а продолжительность опыта при повторении сокращается до 5-6 мин.

Результаты опытной проверки устойчивости оформляются актом, который прилагается к паспорту выемочного участка.

17.4 Повышение устойчивости проветривания

Основное направление повышения устойчивости проветривания – уменьшение числа вентиляционных сооружений и диагоналей, за счет применения прямоточных схем проветривания выемочных участков с выдачей исходящей струи по фланговым выработкам. Кроме того, необходимо: ограничивать число сбоек между выработками со свежей и исходящей струями воздуха; устанавливать регуляторы расходов воздуха непосредственно в объектах регулирования; вместо кроссингов проходить обходные выработки; при сооружении шлюзов, предусматривать такое расстояние между дверями, которое позволяло бы размещать там минимум 1,5 состава с максимальным количеством вагонеток, которые обеспечивают необходимые объемы доставки грузов; автоматизировать контроль уровня угля в бункерах; увеличивать сопротивление путей закорачивания за счет уменьшения размеров дверей и установки в этих выработках дополнительных проемов; производить подачу и отвод воздуха по рядом расположенным наклонным выработкам следует так, чтобы все выработки со свежей и все выработки с исходящей струями располагались рядом, а не чередовались между собой, образуя не более одной пары свежей и исходящей струй.

18. АВАРИЙНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

18.1 Общие положения

Аварийные вентиляционные режимы (АВР) – это специальные режимы проветривания шахты, группы выработок или отдельной выработки, которые применяются после возникновения аварии. Режим проветривания шахты в аварийной ситуации (аварийный вентиляционный режим) должен обеспечить:

- Выход людей в безопасные места по маршрутам с минимальной длиной загазированных выработок.
- Отвод продуктов горения кратчайшими путями на поверхность.
- Отсутствие опасности появления слоевых скоплений метана.
- Устойчивость проветривания выработок по направлению (в первую очередь для наклонных выработок).
- Снижение интенсивности развития пожара.
- Движение отделений ГВГСС по выработкам со свежей струей воздуха.
- Работу отделений ГВГСС по ликвидации аварии со стороны свежей струи.

Все АВР делятся на две основных группы: общешахтные и местные (локальные). К первой группе относятся – общешахтное реверсирование, комбинированный режим и "нулевой" (остановка вентиляторов и проветривание шахты за счет действия естественной тяги). Комбинированный режим применяется при пожаре на вентиляторной установке (всасывающее проветривание шахты) – неаварийные вентиляторы включаются на реверсивный режим проветривания шахты, а аварийный – останавливается.

В группу местных АВР можно включить: повышение устойчивости проветривания (при пожаре в наклонной выработке), местное реверсирование, "закорачивание" вентиляционной струи и направленную рециркуляцию пожарных газов. К местным режимам относится также, уменьшение или увеличение расхода воздуха в аварийном участке.

18.2 Общешахтные АВР

18.2.1 Общешахтное реверсирование вентиляционных струй. Под общешахтным реверсированием вентиляционных струй, как правило, понимается изменение направления движения воздуха во всех выработках шахты. Переход проветривания шахты на этот режим осуществляется двумя способами: изменением направления вращения колеса вентилятора (реверсивные вентиляторы типа ВОД) или с помощью ляд и обводных каналов вентиляторной установки.

Главная задача этого аварийного вентиляционного режима – предотвратить распространение продуктов горения по горным выработкам и, тем самым, обеспечить безопасные условия эвакуации горняков на поверхность.

Применение этого режима проветривания предусматривается при возникновении пожара (взрыва) в пределах определенной группы выработок – в так называемой, зоне реверсирования. Согласно действующих "Правил безопасности...", в зону общешахтного реверсирования, обязательно должны включаться воздухоподающие стволы и их околоствольные дворы.

Зона реверсирования на каждой шахте определяется самостоятельно, исходя из конкретных горнотехнических условий, и согласовывается с командиром ВГСО. Решение, о включении какой-то выработки в зону реверсирования, принимается в основном, с учетом следующих факторов:

- время выхода горняков из зоны распространения пожарных газов, к ближайшей выработке со свежим воздухом, превышает время защитного действия самоспасателя;
- при возникновении пожара в наклонной выработке, не обеспечивается устойчивость вентиляционных потоков (существует опасность их опрокидывания под действием тепловой депрессии пожара, возникновение рециркуляции продуктов горения и, в некоторых случаях, выхода продуктов горения, с высокой температурой на маршруты движения горняков);
- время движения горноспасателей в зоне загазирования превышает время защитного действия респиратора.

Проверку реверсивного режима проводят дважды в год (летом и зимой), а также в случае изменения схемы проветривания шахты, крыла, горизонта или замены ВГП. Расходы воздуха в выработках при реверсивном режиме должны составлять не менее 60 % от расходов в нормальном режиме проветривания. Подачу электроэнергии в шахту отключают. Разрешена подача электроэнергии в шахту в определенные выработки (кроме очистных и подготовительных) для обеспечения быстрого выезда людей из шахты и доставки отделений ГВГСС к аварийному участку. Возможность такого режима должна быть практически проверена на безопасность концентрации метана в выработках, где есть электрические кабели и другое электрооборудование. Перевод ВГП в реверсивный режим следует осуществлять не более чем за 10 мин.

Общешахтное реверсирование, как правило, предусматривается в планах ликвидации аварий (ПЛА) на всех шахтах Донбасса и СНГ. Вместе с тем, при формировании зоны реверсирования, стоит обращать внимание на следующие:

1. сопротивление вентиляционных сооружений (двери, шлюзы) уменьшается из-за низкого качества реверсивных дверей;
2. герметизация вентиляционных сооружений в устьях стволов (на которых установлены вентиляторы главного проветривания), чаще всего, не рассчитана на реверсивный режим проветривания;
3. увеличение сопротивления вентиляционной установки;
4. действие естественной тяги, направлено противоположно реверсивной работе вентиляторных установок (наиболее сложные условия возникают в холодное время года);
5. на газовых шахтах, после реверсирования, возникает опасность поступления повышенной концентрации метана в очаг пожара.

Суммарное действие первых четырех факторов может привести к тому, что поступление воздуха в шахту уменьшится на 40-50 %; в отдельных выемочных полях – на 50-60 %, а в лавах – на 60-80 %. В некоторых выработках возможна остановка вентиляционной струи. Запаздывание реверсирования вентиляционной струи в отдельных участках шахты (с наклонным залеганием пластов) может достигать 10-20 мин.

Основное влияние на проветривание горных выработок в реверсивном режиме оказывает увеличение величины внешних и внутренних утечек воздуха. Причинами увеличения внешних утечек воздуха является: плохая герметизация шлюзов надшахтного здания (на стволе где установлен ВГП), неплотности в герметизации дверей для навески скипов, отсутствие породной подушки в бункерах копра, установка простых (вместо самоуплотняющихся) ляд, неисправность или отсутствие стопорных устройств на лядах в каналах вентиляторов, неплотное закрывание ляд из-за загрязнение каналов угольной пылью. В тех случаях, когда ляд, которая отрезает всасывающую и нагнетательную часть вентиляционной установки, не полностью перекрывает сечение канала, возникает рециркуляция воздушного потока в вентиляционной установке. Сопротивление путей внешних утечек может уменьшиться в 14-62 раз, а величина утечек воздуха может увеличиться до восьмикратного значения.

Основной причиной увеличения внутренних утечек воздуха, при реверсировании вентиляции, является низкое качество реверсивных вентиляционных дверей. Вследствие этого, сопротивление вентиляционных сооружений (шлюзов), при реверсировании, может уменьшаться в 25 и более раз. Это приводит к закорачиванию вентиляционных струй и уменьшению расходов воздуха в объектах проветривания.

Реверсирование вентиляционной струи, на современных шахтах, осуществляется двумя способами: с помощью обводных каналов и изменением направления вращения рабочего колеса вентилятора (реверсивные вентиляторы). Недостатками первого способа является: потери депрессии на всасывающей будке и в обводных каналах вентиляционной установки. Сопротивление вентиляционной установки, после ее перевода в реверсивный режим работы, увеличивается в 2-12 раз, за счет меньшего сечения, большей длины и поворотов обводных каналов. Применение же реверсивных вентиляторов не всегда эффективно, потому что их рабочие параметры в реверсивном режиме работы резко. На большинстве шахт используется первый способ реверсирования вентиляционной струи.

В нормальном режиме работы, действие естественной тяги, на шахтах глубиной более 500 м, как правило, совпадает с работой вентиляторов главного проветривания. При переходе на реверсивный режим проветривания, естественная тяга противодействует работе вентиляторов, уменьшая расход воздуха в шахте. Стоит подчеркнуть, что негативное действие естественной тяги, при общешахтном реверсировании, проявляется в самый ответственный период – когда горняки выходят из загазированных выработок (при пожаре в зоне общешахтного реверсирования). Именно противодействие естественной тяги приводит к запаздыванию реверсирования, а в некоторых случаях (на шахтах разрабатывающих крутопадающие пласты угля) и к остановке вентиляционной струи в удаленных от стволов горных выработках. Это обстоятельство необходимо учитывать при составлении планов ликвидации аварий.

Необходимо также отметить, что, при пожаре в наклонной выработке, с нисходящим проветриванием, и последующем реверсировании, возникает угроза опрокидывания вентиляционных потоков в параллельных выработках и в выработках, которые примыкают к аварийному участку, за очагом пожара (по ходу вентиляционной струи). Таким образом, при составлении ПЛА, необходимо

проводить оценку устойчивости вентиляционных струй не только для нормальных условий, но и для реверсивного режима проветривания.

Одной из ошибок, которые часто встречаются, является недооценка опасности для людей, которые находятся, в нормальном режиме проветривания к очагу пожара. Особенная опасность заключается в том, что после реверсирования продукты горения уже могут содержать высокую концентрацию СО так как возвращаются через очаг пожара. В нормальном режиме, нарастание содержания СО и дыма в воздухе происходит постепенно, люди улавливают запах гари и вовремя реагируют на это. После реверсирования, человек может просто не успеть включиться в самоспасатель. Для предупреждения таких ситуаций необходимо:

- не допускать задержки реверсирования вентиляционной струи;
- помнить о том, что переход вентиляторной установки в реверсивный режим осуществляется не мгновенно (ПБ допускает 10 мин., но в холодное время года, из-за обледенения ляд и реверсивных устройств, эти требования, могут быть не выполнены);
- предусматривать обязательное оповещение людей, которые постоянно находятся в зоне реверсирования, о предстоящем реверсировании вентиляционной струи (кроме оповещения по телефону, необходимо оборудовать звуковую и световую сигнализацию во всех выработках, которые входят в зону общешахтного реверсирования);
- люди, которые находятся в зоне реверсирования, должны включаться в самоспасатели до реверсирования вентиляционной струи.

18.2.2 Комбинированное проветривание шахты. Этот аварийный режим предусматривается в планах ликвидации аварий на шахтах с несколькими вентиляторными установками главного проветривания, которые работают на всасывание. Он применяется при пожаре в вентиляторной установке и возникновении угрозы выхода вентилятора из строя. При этом необходимо придерживаться обязательной последовательности – сначала переводятся на реверсивный режим все вентиляторные установки кроме аварийной, и, только потом, останавливается аварийный вентилятор.

18.2.3 Остановка вентиляторов главного проветривания. Иногда это режим проветривания называют "нулевым". В планах ликвидации аварий его применение не предусматривается. Полная остановка вентиляционной струи на шахте, после выключения вентиляторов главного проветривания (ВГП), практически невозможная, из-за действия естественной тяги. На многовентиляторных шахтах невозможна и синхронная остановка сразу всех ВГП. После остановки всех ВГП возможно опрокидывание вентиляционной струи, в отдельных выработках, под действием естественной тяги. В теплое время года, на шахтах с глубиной стволов до 400 м, возможно опрокидывание вентиляционной струи в стволах.

Основные недостатки:

- в горных выработках (особенно тупиковых) возможно образование опасных скоплений метана;
- возможно произвольное опрокидывание вентиляционных струй в наклонных выработках;
- пожарные газы распространяются в обе стороны от очага пожара.

Этот режим проветривания можно рекомендовать для негазовых (с малым выделением метана) шахт при пожарах в надшахтных зданиях, стволах и примыкающих к ним выработкам, при следующих условиях:

- шахта проветривается одним вентилятором;
- направление движения воздуха, после остановки ВГП, не изменяется;
- выше очага пожара нет аэродинамических связей с воздухоподающим стволом;
- нет угрозы поступления в очаг пожара повышенной концентрации метана.

18.3 Местные аварийные вентиляционные режимы

Эти аварийные вентиляционные режимы предназначены для управления проветриванием отдельных выработок или группы выработок, без изменения режимов работы вентиляторов главного проветривания. Чаще всего они применяются в пределах отдельных выемочных полей или участков.

18.3.1 Повышение устойчивости проветривания.

Основу всех рекомендаций, направленных на повышение устойчивости вентиляционной струи, при пожаре в выработке с нисходящим проветриванием, составляют мероприятия направленные на увеличение сопротивления выработок, которые отводят воздух от аварийного участка. Другими словами, необходимо увеличивать поступление воздуха в аварийные выработки за счет установки регуляторов (вентиляционных перемычек или дверей) в других выработках.

При пожаре в выработке с восходящим проветриванием, необходимо увеличивать сопротивление аварийной выработки, устанавливая регулятор ниже очага пожара (сокращая поступление воздуха в очаг горения).

На некоторых шахтах при пожаре в наклонной выработке с нисходящим проветриванием, как правило, предусматривается увеличение сопротивления параллельной наклонной выработки с нисходящим проветриванием. Для этих целей предусматривается использование пожарных дверей, установленных в верхней части всех наклонных выработок. Необходимо помнить, что такое повышение устойчивости эффективно для всех участков наклонной выработки, только в том случае, когда в сбойках, которые связывают эти участки, установлены качественные вентиляционные сооружения (двери, перемычки). Эффективность мероприятий по повышению устойчивости проветривания горных выработок необходимо проверять не только с помощью ПЭВМ, но, и, непосредственно, в шахтных условиях.

18.3.2 Местное реверсирование.

Местное реверсирование – это изменение направления движения воздуха в отдельной выработке или группе выработок. Этот режим применяется для отвода пожарных газов из аварийной выработки в выработку с исходящим потоком воздуха и предотвращения распространения пожара по выработкам, подающим свежий воздух. Возможность осуществления местного реверсирования основана на использовании свойств выработок-диагоналей. В большинстве случаев, для этого необходимо увеличить сопротивление выработок “опасных по увеличению сопротивления” или уменьшить сопротивление выработок “опасных по уменьшению сопротивления” (возможное и одновременное изменение сопротивления выработок, принадлежащих к обеим группам). К “опасным по уменьшению сопротивления”, как правило, относятся выработки с

вентиляционными сооружениями (двери, шлюзы, перемычки), а к “опасным по увеличению сопротивления”, практически, все остальные выработки шахты, проветриваемые активной вентиляционной струей, за исключением тупиковых выработок. Для увеличения сопротивления выработки используют предварительно установленные вентиляционные двери, пожарные двери, переносные или быстровозводимые перемычки (парусные, парашютные, дощатые и т. п.).

В планах ликвидации аварий местное реверсирование предусматривается достаточно редко из-за организационно технических сложностей. В оперативной обстановке местное реверсирование может использоваться для обеспечения подходов горноспасателей к очагу пожара.

18.3.3 Закорачивание вентиляционной струи.

Понятие “закорачивание”, в практике рудничной вентиляции, означает движение воздуха, кратчайшим путем, из выработок со свежим воздухом, в выработку с исходящим потоком воздуха, через открытые двери шлюза (в аварийной ситуации, можно и через проем, пробитый в перемычке). Применяется с целью сокращения расхода воздуха в аварийной выработке или группе выработок. В выработках, расположенных перед местом закорачивания (по ходу движения вентиляционного потока), расход воздуха может увеличиться, а за этим местом – уменьшиться, вплоть до полной остановки вентиляционной струи (по ходу движения вентиляционной струи, за местом закорачивания). В некоторых случаях возможно опрокидывание вентиляционной струи.

18.3.4 Рециркуляция пожарных газов.

Это специальный аварийный вентиляционный режим (способ тушения пожара), который обеспечивает снижение температуры в очаге пожара и прекращение горения, за счет рециркуляции продуктов горения в очаге пожара. Для организации рециркуляции необходимо выделить и изолировать от остальной части шахты простой вентиляционный контур, который включает в себя аварийные выработки. Аварийные выработки должны включать в себя наклонные, или нагретые продукты горения из горизонтальной выработки должны поступать в наклонные. Движение пожарных газов в изолированном контуре осуществляется за счет действия тепловой депрессии пожара. Возможны варианты рециркуляции, когда часть контура, который состоит из горных выработок, заменяется металлическими трубами, а для охлаждения пожарных газов в трубопроводе используется вода. Для повышения эффективности рециркуляции в эту часть вентиляционного контура можно включать вентилятор местного проветривания. В этом случае этот способ вентиляции аварийного участка можно назвать «принудительной» рециркуляцией.

18.3.5 Многоразовое реверсирование вентиляционной струи.

Специальный аварийный вентиляционный режим (способ тушения пожара), который обеспечивает снижение температуры в очаге и прекращения горения, за счет многоразового возвращения продуктов горения в очаг пожара. Осуществляется с помощью вентилятора (-ов) местного проветривания, который работает через перемычку. Периодическое включение ВМП должно обеспечивать опрокидывание вентиляционной струи в аварийной выработке (участке) и возвращение продуктов горения в очаг пожара.

19. ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЛУЖБА ШАХТ

19.1 Общие положения

Состояние вентиляции требует постоянного, систематического контроля, потому что на шахте, в течение рабочей смены или суток, возможные различные изменения, связанные с заложением новых выработок, погашением старых, установкой или ликвидацией вентиляционных сооружений и т.д. Кроме того, со временем, изменяются геометрические размеры горных выработок – часть из них уменьшается, а часть увеличивается (после перекрепления). Следует также, учитывать, возможность изменения газового режима и мест выделения вредностей в шахте.

Контроль вентиляции шахт, в основном, осуществляют специалисты специальной службы – участки вентиляции и техники безопасности (ВТБ). Они готовят вентиляционный план шахты (схему вентиляции) и проводят его оперативную корректировку, с учетом изменений в шахтной вентиляционной сети. Все изменения в расположении вентиляционных устройств и сооружений, ВМП, направлении движения воздуха, и новые выработки должны отмечаться на схеме вентиляции в течение суток.

По Правилами безопасности систематическому контролю подлежат следующие параметры вентиляционных струй:

- расход воздуха и скорость его движения в горных выработках;
- концентрация кислорода, окиси углерода и углекислого газа, в горных выработках, с учетом особенностей их проявления, в условиях конкретной шахты;
- концентрация водорода в зарядных камерах;
- температура воздуха;
- относительная влажность (при температуре воздуха $> 20^{\circ}\text{C}$).

Кроме того, в шахтах предусматривается контроль депрессии горных выработок и давления в них, параметров вентиляторов главного и местного проветривания, вентиляционных сооружений.

19.2 Контроль расходов и скорости движения воздуха

Для измерения скорости воздуха в горных выработках применяются крыльчатые (АСО-3) и чашечные (МС-13) анемометры. В последние годы, распространение получили цифровые анемометры АПР-2.

Для измерения скорости воздуха в главных входящих и исходящих потоках воздуха шахты должны быть оборудованы замерные станции. Измерение скорости воздуха должно проводиться на прямолинейных не загроможденных участках выработки с постоянным (вблизи точки измерения) поперечным сечением. При этом желательно, чтобы точка измерения располагалась не ближе $12b$ (b – ширина выработки, м) от начала выработки (по ходу вентиляционной струи) или $5b$ – до конца выработки (рис. 19.1). Это значит, что в короткой выработке (участок 1-2), при измерении скорости воздуха возможна большая погрешность. Для такой выработки, расход воздуха необходимо определять по результатам измерений в выработках, примыкающих к ней. Так, например, если для выработки 1-2 не выполняется условие ($L \geq 17b$, где L – длина выработки, м), то измерения скорости

воздуха, в точке № 1, будут выполнены с погрешностью. Расход воздуха в ней нужно определять как разницу расходов воздуха, измеренных в точках № 3 и № 2.

Точность измерений скорости воздуха обеспечивает равномерное, плавное движение анемометра в сечении выработки. Кроме этого, желательно, чтобы во время измерения, на расстоянии 20 м, в обе стороны от замерщика, не велись никакие работы, связанные с перемещением грузов и людей, и изменением сопротивлений вентиляционных сооружений. Измерение скорости воздуха делается не менее двух раз подряд. Если показания анемометра отличаются более чем на 10 %, то делают третье измерение, а скорость воздуха определяют как среднее арифметическое, по результатам трех измерений.

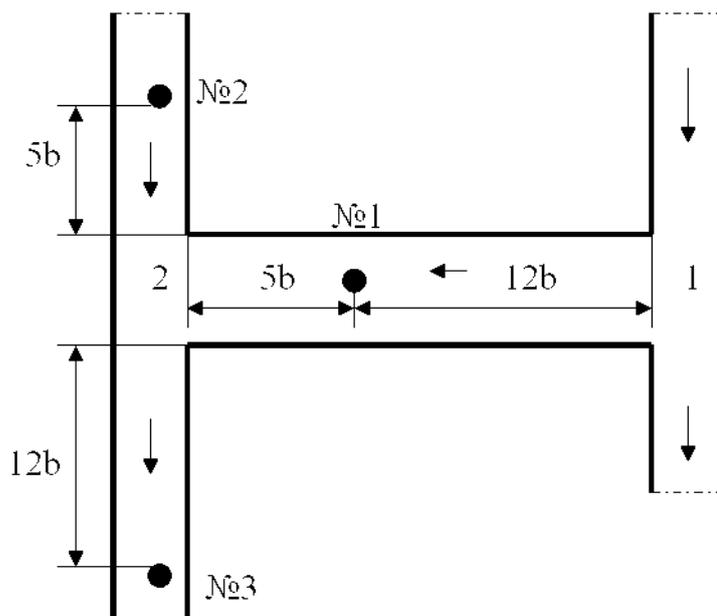


Рис. 19.1 – Схема измерения скорости воздуха в выработках

Площадь поперечного сечения выработки (рис. 19.2) определяется по формулам:

для трапециевидной формы поперечного сечения (рис. 19.2а)

$$S = 0,5 H (a+b);$$

для сводчатой формы поперечного сечения (рис. 19.2б)

$$S = \frac{\pi b^2}{8} + b \left(H - \frac{b}{2} \right);$$

для арочной формы поперечного сечения (рис. 19.2в)

$$S = \frac{\pi a^2}{8} + \frac{a+b}{2} \left(H - \frac{a}{2} \right).$$

При деформированной крепи, сечение выработки разбивается на ряд простых фигур и общую площадь определяют, как сумму площадей этих фигур (рис. 19.2г).

Измерение скорости воздуха (> 1 м/с) можно, также, делать с помощью U-образного манометра или микроманометра и трубки Пито. Соединив трубку Пито с манометром или микроманометром (с помощью резиновых трубок), можно измерять скоростное давление в выработке или трубопроводе. Тогда скорость воздуха рассчитывается по формуле

$$V = \sqrt{\frac{2h_{ск}}{\rho}},$$

где $h_{ск}$ – скоростное давление, Па;
 ρ – плотность воздуха, кг/м³.

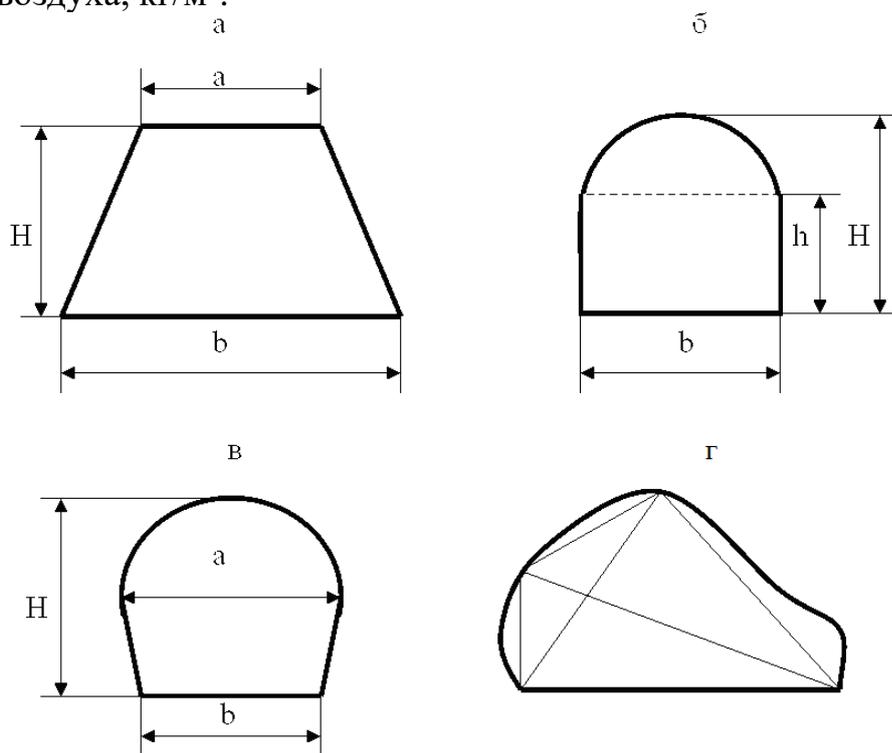


Рис. 19.2 – Схемы поперечных сечений горных выработок

Площадь поперечного сечения выработок в свету определяется расчетом по факторам допустимой скорости воздушной струи (проветривания), габаритных размеров подвижного состава и оборудования с учетом минимально допустимых зазоров, величины усадки крепи после воздействия горного давления и безремонтного их содержания в течение всего периода эксплуатации. Поперечные сечения горных выработок должны соответствовать типовым сечениям.

Площадь поперечного сечения выработки проверяется по скорости движения воздуха, которая не должна быть ниже минимального и больше максимально допустимого значения.

Минимальные площади поперечных сечений выработок в свету регламентированы ЕПБ и зависят от типа и назначения выработки и типа крепи. Они колеблются в пределах от 1,5 до 9 м² (табл. 19.1).

Таблица 19.1

Площади поперечных сечений выработок

Выработки	S_{min}, M^2
1. Главные откаточные и вентиляционные выработки, людские ходки для механизированной перевозки	9,0
2. Участковые вентиляционные, промежуточные, конвейерные и аккумулирующие штреки, участковые бремсберги и уклоны	6,0
3. Вентиляционные просеки, печи, косовичники и другие выработки	1,5
4. Участковые выработки, находящиеся в зоне влияния очистных работ,	4,5

людские ходки, не предназначенные для механизированной перевозки людей	
5. Главные откаточные и вент. выработки, введенные в действие до 1987 года:	
а) закрепленные деревянной, сборной железобетонной, металлической крепью	4,5
б) закрепленные каменной, монолитной, железобетонной, бетонной, гладкостенной сборной железобетонной крепью	4,0
в) участковые вентиляционные, промежуточные и конвейерные штреки, людские ходки, участковые бремсберги и уклоны	3,7

19.3 Требования ПБ к скорости движения воздуха в горных выработках

Скорость воздуха в горных выработках не должна превышать величин, указанных в таблице 19.2.

Таблица 19.1

Максимальная скорость воздуха в горных выработках

Горные выработки, призабойные пространства, вентиляционные устройства	Максимальная скорость воздуха, м/с
Вентиляционные скважины	Не ограничена
Стволы и вентиляционные буровые скважины с подъемными установками, предназначенными только для поднимания работников в аварийных случаях, вентиляционные каналы	15
Стволы для опускания и поднимания только грузов	12
Кроссинги трубчатые и типа перекидных мостов	10
Стволы для опускания и поднимания работников и грузов, квершлагги, главные откаточные и вентиляционные штреки, капитальные и панельные бремсберги и уклоны	8
Все прочие горные выработки, проведенные по углю и породе	6
Призабойные пространства очистных и тупиковых выработок	4

Средняя скорость воздуха в призабойных пространствах очистных и подготовительных выработок шахт всех категорий по газу должна быть не менее 0,25 м/с, за исключением подготовительных выработок газовых шахт с проектной длиной 75 м и более, проводимых по угольным пластам мощностью 2 м и более, при разности между природной и остаточной метаноносностью пласта на участке проведения выработки 5 м³/т и выше, где минимальная скорость должна составлять 0,5 м/с.

При проведении подготовительных выработок со слоевой отработкой угольных пластов по второму и следующим слоям минимальная скорость воздуха в

призабойных пространствах подготовительных выработок независимо от мощности оставшейся пачки угля и разности природной и остаточной метаноносности пласта должна составлять не менее 0,25 м/с. При проходке и углубке вертикальных стволов и шурфов, в тупиковых выработках негазовых шахт и в остальных выработках шахт всех категорий, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, – не менее 0,15 м/с. Минимальная скорость воздуха в камерах не регламентируется.

Производство ремонтных работ в стволах и передвижение людей по лестничным отделениям разрешается при скорости воздуха не более 8 м/с.

При температуре воздуха ниже 16°С скорость воздушной струи в призабойных пространствах очистных и тупиковых выработок, где ведутся работы, не должна превышать 0,75 м/с, если для удаления вредных газов не требуется большая скорость.

В отдельных случаях допускается:

- производство ремонтных работ и вывод людей при аварии в стволах, где скорость воздуха превышает 8 м/с;
- превышение скорости движения воздуха в призабойных пространствах очистных забоев более 4 м/с, когда иными способами невозможно обеспечить поддержание метана в исходящей из очистного забоя вентиляционной струе в пределах норм, указанных в ПБ.

Работы в горных выработках с превышением допустимых скоростей движения воздуха допускаются по специально разработанным мероприятиям, утвержденным техническим руководителем эксплуатирующей организации и согласованным с территориальными органами Госгортехнадзора.

19.4 Измерение температуры, влажности и давления воздуха

Измерение температуры воздуха выполняют ртутными термометрами с ценой деления не более 0,2°С. Относительную влажность воздуха (отношение массы водяных паров во влажном воздухе, к массе водяных паров при полном насыщении ими воздух) определяют с помощью психрометра. Контроль давления воздуха осуществляют с помощью барометров-анероидов и барографов. Измерение депрессии (разницы давлений) выполняют с помощью микроманометра типа ММН. Микроманометр обеспечивает измерение депрессии в диапазоне до 250 даПа.

19.5 Депрессионные съемки

Депрессионная съемка – это комплекс работ, которые выполняются для определения депрессии и расходов воздуха в горных выработках, аэродинамических сопротивлений горных выработок и вентиляционных сооружений, величины тепловых источников тяги. Понятие “депрессионная съемка” не полностью отображает виды измерений, проводимых в горных выработках, потому что, кроме депрессии, измеряются и другие параметры (скорость воздуха, температура и т.д.). Более точным является название «воздушно-депрессионная съемка», потому что основная часть измерений связана с определением расходов воздуха и депрессии выработок. Плановые депрессионные съемки проводятся на шахте подразделениями ГВГСС, один раз в три года. Полная депрессионная съемка проводится для всей шахты, а частичная – для отдельной группы выработок. Депрессионная съемка в

отдельной выработке состоит из одновременных измерений депрессии и скорости воздуха.

Для определения депрессии выработок используют следующие методы:

- непосредственное измерение депрессии с помощью микроманометра и резиновой трубки;
- вычисление депрессии по измеренным абсолютным давлениям.

Первый метод достаточно трудоемкий. В этом случае, необходимо, между двумя пунктами в шахте, проложить резиновую трубку и, присоединив один из ее концов к микроманометру, определить показание микроманометра. Для этого, чаще всего, используют трубки длиной 100-200 м, поэтому, в длинных выработках, резиновую трубку необходимо несколько раз прокладывать и сматывать. Второй метод основан на использовании микробарометров. Двигаясь по маршруту, последовательно измеряют величину абсолютного давления в отдельных пунктах (например, в сопряжениях). По разнице давлений, между началом и концом выработки (центры сопряжений, где воздух заходит в выработку или выходит из нее) вычисляется величина депрессии выработки. Достоинства: меньшая трудоемкость и возможность измерения депрессии непроходимых выработок. Недостаток – большая погрешность измерений, из-за погрешности приборов или пульсаций давления. Разновидностью этого метода является метод одновременных отсчетов, когда измерения давления делают одновременно несколько человек, в нескольких пунктах, через согласованные промежутки времени.

20. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Аналогично вентилятору, каждая ветвь вентиляционной сети имеет свою аэродинамическую характеристику и аэродинамическое сопротивление. Аэродинамические характеристики ветвей (соединений, вентиляционных участков) называют «приведенными», то есть они являются производными от характеристики вентилятора (в некоторых случаях употребляют также термин «напорная» характеристика). Эти характеристики используют для анализа влияния отдельных факторов на режим проветривания ветвей-выработок, вентиляционных соединений или вентиляционных участков. Наличие у каждой ветви приведенной характеристики вентиляционной сети является свойством вентиляционной сети.

Понимание закономерностей формирования приведенных характеристик в простых вентиляционных соединениях дает возможность понять и визуализировать «механизм» влияния разных факторов на режим вентиляции сети (части сети), ведь каждая приведенная характеристика описывает совокупность всех возможных режимов проветривания соответствующей части шахты.

Уравнение приведенной характеристики имеет вид

$$h = A - b Q^2,$$

где A и b – коэффициенты приведенной характеристики выработки (части сети).

Физический смысл параметра A – максимально возможная депрессия ветви (части сети). Иначе говоря, это депрессия выработки, которая имеет бесконечно большое сопротивление. То есть, это выработка, в которой установлена абсолютно плотная перемычка и расход воздуха равен нулю.

Режим проветривания каждой ветви определяют координаты точки пересечения приведенной характеристики и характеристики сопротивления. В параллельном соединении (рис. 20.1) это координаты точек «e» и «d». Режим проветривания параллельного соединения определяют координаты точки «с».

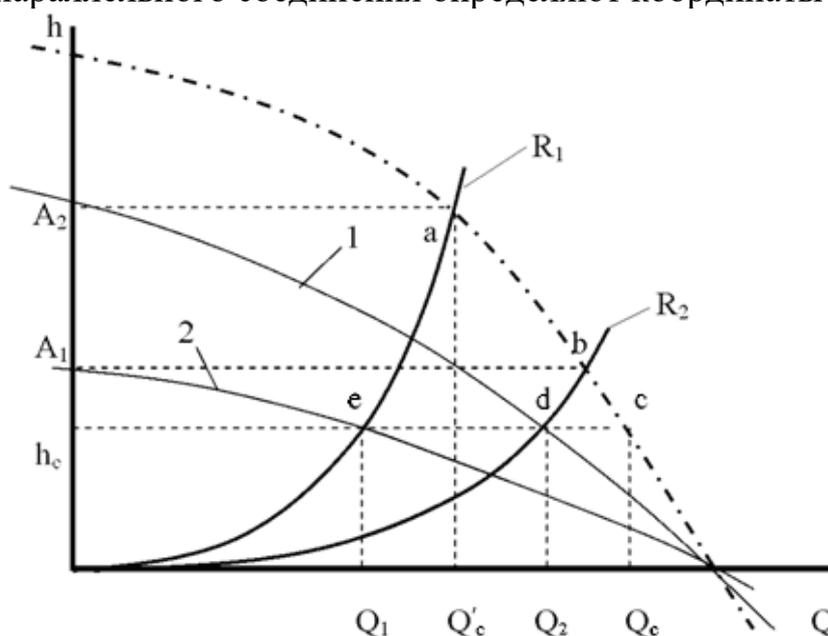


Рис. 20.1 – Формирование режима проветривания параллельного соединения

Разница абсцисс точек «e» и «a» для ветви R_1 показывает теоретические пределы отрицательного регулирования за счет повышения сопротивления ветви R_1

до бесконечности, а разница абсцисс точек «с» и «а» – теоретическую величину уменьшения расхода воздуха в параллельном соединении при увеличении сопротивления ветви R_2 до бесконечности.

Параметры приведенной характеристики можно определить экспериментально с помощью легкой перемычки (из брезента или из полиэтиленовой пленки).

Сначала определяют нормальный режим проветривания выработки (рис. 20.2, координаты точки А), то есть измеряют ее депрессию (h_A) и расход воздуха (Q_A).

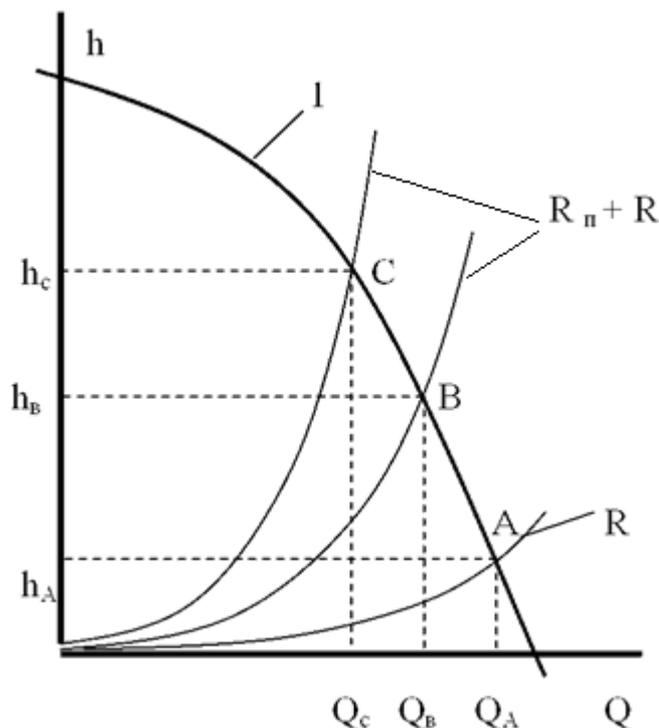


Рис. 20.2 – Определение параметров приведенной характеристики

Потом устанавливают легкую перемычку, перекрывая 0,5 площади сечения выработки (точка В) и измеряют депрессию перемычки (h_B) и расход воздуха (Q_B). Те же измерения (точка С) делают после перекрытия сечения на 75 % (h_C , Q_C). Координаты точек А, В, С наносят на график и соединяют плавной кривой. Параметр b для параболы определяется с помощью формулы

$$b = (h_C - h_A) / (Q_A^2 - Q_C^2).$$

Параметр A определяют используя формулу

$$A = h_A + b Q_A^2.$$

Депрессию ветви с регулятором определяет формула

$$h_B = (h_A / Q_A^2 + h_p / Q_B^2) Q_B^2,$$

где h_p – депрессия регулятора.

Нужное (необходимое) сопротивление регулятора (приведенная характеристика 1 имеет вид параболы) определяют с помощью формулы

$$R_p = (A / Q_n^2) - b - (h_A / Q_A^2),$$

где Q_n – необходимый расход воздуха в выработке после регулирования.

На газовых шахтах III категории и выше перекрытие сечения выработки, которое может привести к уменьшению расхода воздуха в подготовительных или выемочных забоях, недопустимо. В этих случаях необходимо использовать компьютерную модель шахтной вентиляционной сети.

21. ФИЗИЧЕСКИЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГРАНИЦЫ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Понятие «начало» и «конец» горной выработки (с точки зрения аэрологии) полностью условны. Они связаны с понятиями «сопряжение» и «длина» горной выработки, а также с направлением движения воздуха по выработке.

Сопряжение – это место соединения (пересечения) нескольких горных выработок (рис. 21.1). Например, пространство сопряжение трех выработок (1, 2, 3) которые имеют закругления на концах (кроме физических пределов) условно ограничивают три линии (a-a, b-b, c-c) в местах, где заканчивается сопряжение.

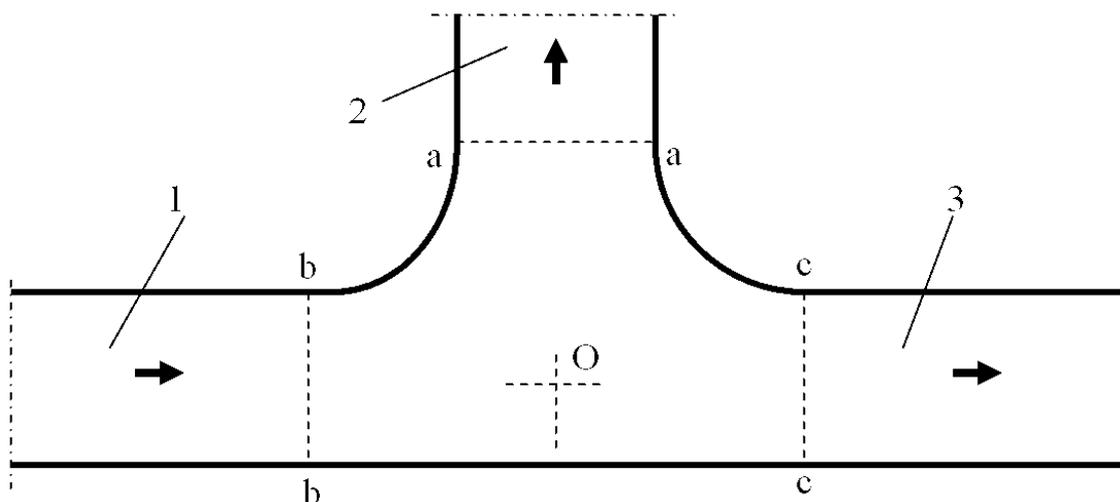


Рис. 21.1 – Место соединения (сопряжения) трех выработок или частей выработок

Место пересечения горных выработок или сопряжение выработок, не является выработкой. Такого названия нет в перечне типов горных выработок. В то же время, это не просто место соединения выработок. В аэрологии эти места относят к так называемым «местным сопротивлениям». То есть, к местам, где происходят дополнительные потери давления воздуха.

Не следует путать начало или конец горной выработки с устьем выработки. Устья имеют тоннели, стволы и штольни. Устье можно считать началом (концом) горной выработки только в случае, когда эта выработка пересекается с плоскостью поверхности земли. В то же время, устье – это не сечение или точка в месте пересечения горной выработки с поверхностью земли. Устьем считается часть ствола (штольни) длиной 10-20 м, начиная от поверхности земли.

Сопряжение выработок принадлежит к местным сопротивлениям (в гидравлике такие сопротивления называют тройниками и крестовинами). В этих местах возникает возмущение вентиляционной струи. Последствиями возникновения возмущения являются дополнительные расходы давления (депрессии) на перемещение воздуха в сопряжениях.

Существует противоречие между постоянным понятием «горная выработка» (полость в горах породах) и определением «границ» горной выработки. Физические границы выработки, с точки зрения аэрологии, ограничены начальным и конечным сечениями между ближайшими сопряжениями. То есть, это места где заканчивается закругление ближайших сопряжений (рис. 21.1, линии a-a, b-b, c-c).

Чтобы отличить эту длину от той, которая формирует замкнутые вентиляционные контуры, введем в обращение понятие «физическая» и «аэродинамическая» длина выработки.

Понятие «аэродинамической» длины определяет такую длину горной выработки, к которой отнесены все потери давления воздуха связанные с движением воздуха по отдельной выработке или ее части. Таким образом, потери давления в сопряжениях рассматриваются не как отдельные части, а совмещаются с потерями давления в горных выработках. В этом случае, точка пересечения осей выработок в сопряжении (рис. 21.1, точка О) является аэродинамическим «концом» выработки 1 и, в то же время, аэродинамическим «началом» выработок 2 и 3. Такой подход дает возможность «замкнуть» вентиляционный контур и понять, что депрессия выработки – это разница давлений воздуха между точками пересечения осей выработок в сопряжениях. Соответственно такому представлению о вентиляционной сети, измерения депрессии выработок необходимо делать между точками, где измеряется аэродинамическая (рис. 21.2, длина L_{3-2}), а не физическая длина ($L_{3'-2'}$).

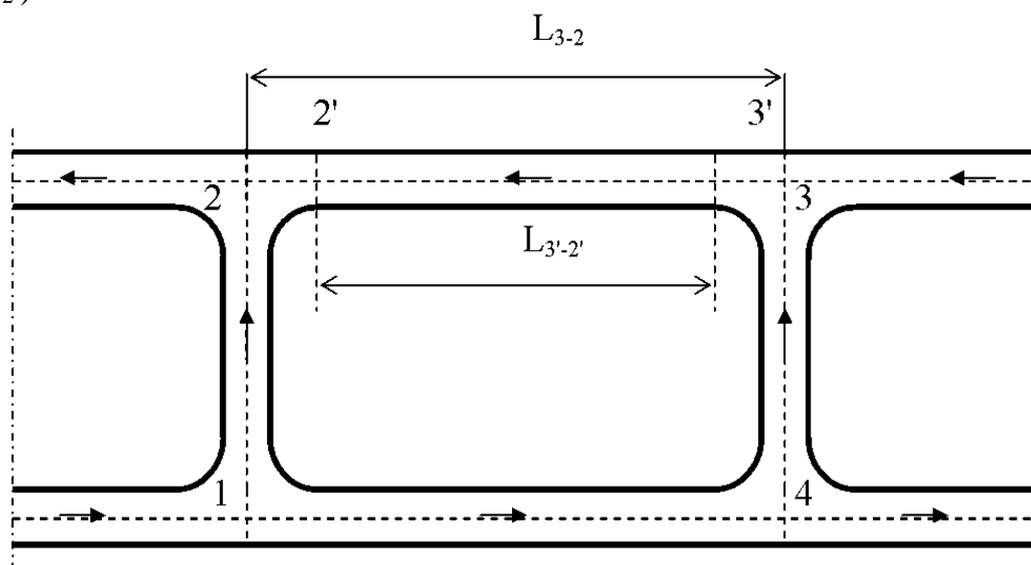


Рис. 21.2 – Схема соединения горных выработок в вентиляционном контуре

Точки, между которыми измеряется депрессия, совпадают с точками, между которыми измеряется аэродинамическая длина горных выработок (отдельных частей или участков выработок). Только при таком измерении депрессии выработок можно говорить о выполнении второго закона сети. Только тогда, в соответствии со схемой на рис. 21.2, можно считать (для горизонтальных выработок), что сумма депрессий в вентиляционном контуре 1-2-3-4-1 равняется нулю.

Вышеприведенное дает возможность определить понятия, которые характеризуют некоторые геометрические и аэродинамические границы горной выработки.

Физическая длина горной выработки (L_{ϕ}) – расстояние между начальным и конечным сечением или условными линиями в местах сопряжений, где заканчиваются их закругления.

Аэродинамическая длина горной выработки (L_a) – расстояние между точками пересечения осей горных выработок или их частей в двух ближайших сопряжениях.

Понятие «начало» и «конец» для горных выработок также связаны с направлением движения воздуха. После изменения направления движения воздуха, «начало» и «конец» меняются местами.

Физическое начало горной выработки – условная линия или рама крепи, в месте где, заканчивается закругление сопряжения, и воздух входит в горную выработку.

Физический конец горной выработки – условная линия или рама крепи, в месте где, начинается закругление сопряжения, и воздух выходит из горной выработки.

С точки зрения аэродинамики «начало» выработки – это точка пересечения осей выработок в сопряжении, где воздух входит в горную выработку, а «конец» – точка пересечения осей выработок в том сопряжении, где воздух выходит из той же выработки.

Вышеприведенное позволяет сформулировать уточнение или условие выполнения второго закона сети: второй закон сети выполняется только в том случае, если потери давления в сопряжениях горных выработок учтены в депрессии ветвей-выработок.

22. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК

Точность моделирования распределения воздуха в виртуальной модели вентиляционной сети зависит от точности определения режима вентиляции (h , Q) горных выработок и расчетов их аэродинамических сопротивлений. Сложность заключается в том, что аэродинамическое сопротивление горной выработки является квазистационарным (мнимо неизменным). Фактически оно изменяется во времени. Эта изменчивость существует в двух видах: постепенная и временная. Первая связана с уменьшением сечения выработки под давлением вмещающих пород, а временная – с организационно-технологическими факторами. Постепенная квазистационарность, как правило, касается всех выработок кроме вертикальных стволов (кроме случаев, когда они углубляются или сокращаются, то есть, их общее сопротивление изменяется в зависимости от их глубины), камер и выемочных забоев. Временная квазистационарность сопротивления выработок связана с влиянием горного транспорта (наличие и движение скипов, клетей, грузовых и людских поездов, нагруженных конвейеров, концевой откатки и т.п.), движением людей через вентиляционные сооружения (двери, шлюзы) и по горным выработкам, работой механизмов в выемочных и подготовительных забоях.

Во время рабочей смены могут действовать одновременно все временные факторы, а в промежутках между сменами, некоторые из них исчезают или усиливаются. Например, в лаве (во время добычи угля) сечение, свободное для прохода воздуха, все время изменяется. Постоянное изменение сопротивления лавы связано с движением комбайна, перемещением механизированной крепи (за комбайном), движением людей и изменением объема свободного пространства, за механизированной крепью (выработанное пространство до «посадки» кровли и после нее). В связи с вышеприведенным, можно считать проветривание механизированных лав «пульсирующим».

Среди всех выработок, сопротивление выработок выемочного участка необходимо рассматривать отдельно. Во время добычи угля сопротивление штреков участка постоянно изменяется. Одновременно с работой механизированного комплекса изменяется длина участков штреков. Так, если отработка участка происходит «столбами» (без дополнительных выработок со «свежим» воздухом), то сопротивление участка все время уменьшается (при почти «неизменном» сопротивлении лавы), а расход воздуха в лаве увеличивается. Эти изменения можно определить (в зависимости от соотношения сопротивления лавы и суммарного сопротивления участков штреков) в промежутках времени от 5 до 15 суток. В случае «прямого хода» лавы, общее сопротивление участка повышается все время, пока лава работает. При наличии дополнительной вентиляционной выработки (схемы с «прямоточным проветриванием» и обратным порядком отработки подготовленного столба) сопротивление движению воздуха со временем также повышается.

23. АЭРОЛОГИЯ КАРЬЕРОВ. ЕСТЕСТВЕННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ

23.1 Причины и характер загрязнения атмосферы карьеров

Воздух, заполняющий карьер называется атмосферой карьера и отличается от атмосферного наличием загрязняющих веществ (газа, пыли, тепловыделения) связанных с ведением технологических процессов. Если состав карьерного воздуха отличается от атмосферного незначительно, то такой воздух называется свежим, при существенном отличии – загрязненным. Работа практически всех машин и механизмов, составляющих технологический комплекс карьеров, сопровождается выделением вредных примесей. При достаточно активном естественном воздухообмене между процессами поступления и выноса устанавливается динамическое равновесие, благодаря чему среднее содержание вредных примесей в атмосфере карьера большую часть времени не превышает предельно допустимых концентраций.

Общее загрязнение атмосферы карьеров наблюдается, как правило, в периоды безветренной погоды и, особенно, при инверсиях (*инверсия в метеорологии означает аномальный характер изменения какого-либо параметра в атмосфере с увеличением высоты. Наиболее часто это относится к температурной инверсии, то есть к увеличению температуры с высотой в некотором слое атмосферы вместо обычного понижения*). Оно возникает либо вследствие постепенного накопления вредных примесей при работе горнотранспортного оборудования, либо после массового взрыва, произведенного при неблагоприятных метеорологических условиях.

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

Источники загрязнения атмосферы могут находиться как в карьере, так и за его пределами. Они характеризуются интенсивностью, т.е. количеством токсичных газов и пыли, выделяемых в единицу времени. Интенсивность большинства источников пылевыведения в карьере зависит от многих факторов, в том числе от скорости движения и температуры воздуха в зоне работающего оборудования. Переменную, зависящую от внешних условий и интенсивности выделения вредных примесей, имеют все машины и устройства, перегружающие горную массу в потоке движущегося воздуха, а также автомобили, бульдозеры и др. Интенсивность источников пылевыведения следует определять при одинаковых ("эталонных") значениях влияющих факторов, в противном случае неизбежны весьма большие расхождения.

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

поступает в основном "свежая" пыль, которая представляет наибольшую силикозоопасность.

Причиной весьма сильного, но, как правило, кратковременного загрязнения атмосферы карьеров и прилегающего района являются взрывные работы. Газопылевое облако при мощном массовом взрыве выбрасывается на высоту до 150-250 м, а затем, достигнув уровня конвекции, распространяется по ветру на значительные расстояния. Объем облака составляет 15-20 млн. м³, а концентрация пыли в нем достигает 4000 мг/м³. Удельное пылеобразование при взрывах изменяется от 0,04 до 0,154 кг пыли на 1 кг взорванного ВВ. При взрывах выделяются также значительные объемы ядовитых газов – в основном окись углерода и окислы азота. Количество газов зависит от типа ВВ и свойств взрывааемых пород. С увеличением удельного расхода ВВ в два раза удельное пылевыделение возрастает в 6 раз. При обводненности взрываемого блока концентрация пыли в облаке резко уменьшается.

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

Интенсивным и постоянно действующим источником загрязнения воздуха в карьерах является автотранспорт. Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания представляют сложную многокомпонентную смесь. В настоящее время в их составе определяется уже более 200 различных веществ. Из аэрозольных компонентов наиболее опасна сажа, выбрасываемая в виде частиц с преобладающим размером 0,05-0,5 мкм (до 98 %). Частицы сажи, обладая значительной удельной поверхностью (до 75 м²/г), сорбируют канцерогенные и другие токсические вещества, которые, попадая в организм человека, могут привести к тяжелым последствиям.

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

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

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

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

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

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

Запыленность воздуха на рабочих местах не должна превышать ПДК, которые в зависимости от содержания свободной окиси кремния в пыли и ее минералогического состава колеблются от 1 до 10 мг/м³.

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

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

Метеорологическими наблюдениями установлено, что в карьерном пространстве формируется собственный микроклимат, особенности которого проявляются все более четко по мере увеличения глубины разработок. На нижних горизонтах глубоких карьеров отмечаются существенные различия в температуре воздуха, влажности, прозрачности атмосферы, количестве осадков. Увеличение глубины сопровождается ухудшением условий воздухообмена в карьерном пространстве, что связано как с падением активности ветрового потока, так и с уменьшением интенсивности солнечной инсоляции, приходящейся на единицу площади обнаженных поверхностей.

Следствием этого является возникновение труднопроветриваемых, объем которых, как правило, увеличивается с глубиной и находится в зависимости от величины скорости ветра на поверхности. Основными факторами, определяющими активность естественного воздухообмена в карьерах, являются ветровая энергия, солнечная радиация и термическая стратификация атмосферы карьера и

вышележащих слоев. При определенных условиях на естественный воздухообмен могут влиять окислительные процессы и глубинное тепло Земли (особенно при высоких значениях геотермических градиентов).

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

23.2 Основные положения по обеспечению нормального состава атмосферы в карьерах

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

Проектом учитывается комплекс факторов, влияющих на запыленность и загазованность воздуха, определяющими из которых являются: географическое положение района, в котором находится предприятие, горно-геологическая характеристика месторождения, физико-механические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород, технология разработки и используемая техника, пространственное положение и геометрические параметры будущего карьера.

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

Комплекс факторов, определяющих санитарную характеристику воздуха в карьерах, подразделяется, на две группы: а) независимые и подлежащие обязательному учету; б) управляемые и выбираемые с учетом обеспечения нормального состава атмосферы при использовании соответствующей технологии и т.п. Микроклимат рабочих мест и интенсивность естественного воздухообмена, являются производными объективно существующих метеорологических условий. Учет климатических условий в процессе проектирования позволяет не только правильно обосновать необходимые средства обеспечения комфортных условий труда, но и одновременно дает возможность определить рациональную компоновку промышленной площадки с соответствующим расположением от въездов, траншей и других горных сооружений.

Управляемая группа факторов – это, прежде всего, технология и техника разработки, выбор которых должен оцениваться и по санитарным характеристикам. При этом экономическое сравнение позволяет, при прочих равных условиях,

выбрать более оптимальные варианты с точки зрения предупреждения загрязнения атмосферы, как на рабочих местах, так и в карьерном пространстве,

В целом, проектирование проветривания карьера осуществляется в следующей последовательности:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

23.3 Метеорологическая характеристика района

Исходными данными, определяющими естественный воздухообмен в карьерах и необходимый комплекс профилактических мероприятий, которые должны быть рассмотрены в проекте, являются: географическое положение района, горно-

геологические условия, технология разработки и применяемая техника, геометрия карьерного пространства и организация работ.

Географическое положение района определяет, прежде всего, его климатические условия, которые характеризуются величинами:

- Широта, градус;
- Средняя температура января, °С;
- Средняя температура июля, °С;
- Средняя температура, °С;
- Годовая температура, °С;
- Климат.

При этом необходимо учесть, что при одном и том же широтном расположении на разных меридианах климатические условия будут существенно меняться, соответственно определяя необходимые методы и средства поддержания комфортных климатических условий труда, сокращения и предупреждения повышенного содержания примесей в атмосфере.

Орография района расположения (горный, холмистый или равнинный) будущего карьера позволяет уже на стадии проекта оценить возможное ослабление воздушных потоков вследствие ее закрытости неровностями рельефа. Скорость ветра на площадке будущего карьера

$$V_{н.к} = V_{в} (1 - p_1),$$

где $V_{в}$ – скорость ветра, характерная для рассматриваемого района, м/с;

p_1 – коэффициент, характеризующий степень ослабления воздушного потока в зависимости от закрытости горизонта (табл. 23.1) или соотношения H/L (H – превышение неровностей рельефа над начальной отметкой карьера, L – расстояние до неровности).

Таблица 23.1

Определение степени ослабления воздушного потока

Закрытость горизонта, градус	Отношение H/L	Степень ослабления воздушного потока, p_1
0	0	0
5	0,09	0,1
10	0,18	0,2
15	0,27	0,3
>15	0,30	Возникают потоки обратного направления

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха регламентируются как на теплый, так и на холодный периоды года, исходя из категории работы по ее тяжести.

23.4 Проветривание карьеров энергией ветра

Существует две основных схемы проветривания карьеров с помощью энергии ветра – прямоточная и рециркуляционная. Кроме этих простых ветровых схем могут возникать комбинированные ветровые схемы – прямоточно-рециркуляционная и рециркуляционно-прямоточная.

Прямоточная схема проветривания (рис. 23.1) возникает при скорости воздуха на поверхности выше, чем 0,8...1 м/с и при угле наклона подветренного борта

карьера 15° и менее. Возникновение прямоточной или рециркуляционной схемы зависит в основном от геометрии карьера (угла наклона борта карьера). Однако возможен переход с рециркуляционной схемы на прямоточную при увеличении скорости ветра на поверхности при неизменных геометрических параметрах карьера. Это объясняется усилением турбулентности атмосферы при увеличении скорости ветра и связанным с этим возрастанием угла раскрытия свободной струи.

Поток движущегося над земной поверхностью воздуха, достигает точки O и далее расширяется по борту карьера, вследствие чего скорость его движения уменьшается. Плоскость $a-a$ разграничивает воздушный поток на две части: часть, которая расширилась вниз карьера, и часть приостановленного воздуха над карьером, выше плоскости $a-a$. Поток воздуха омывает подветренный борт карьера. После встречи с наветренным бортом поток воздуха движется вдоль него вверх и сужается. Вследствие незначительного угла откоса подветренного борта карьера ($\alpha \leq 15^\circ$) не возникает срыва струи. В карьере распространяется ограниченная струя, границами которой являются борта и дно карьера.

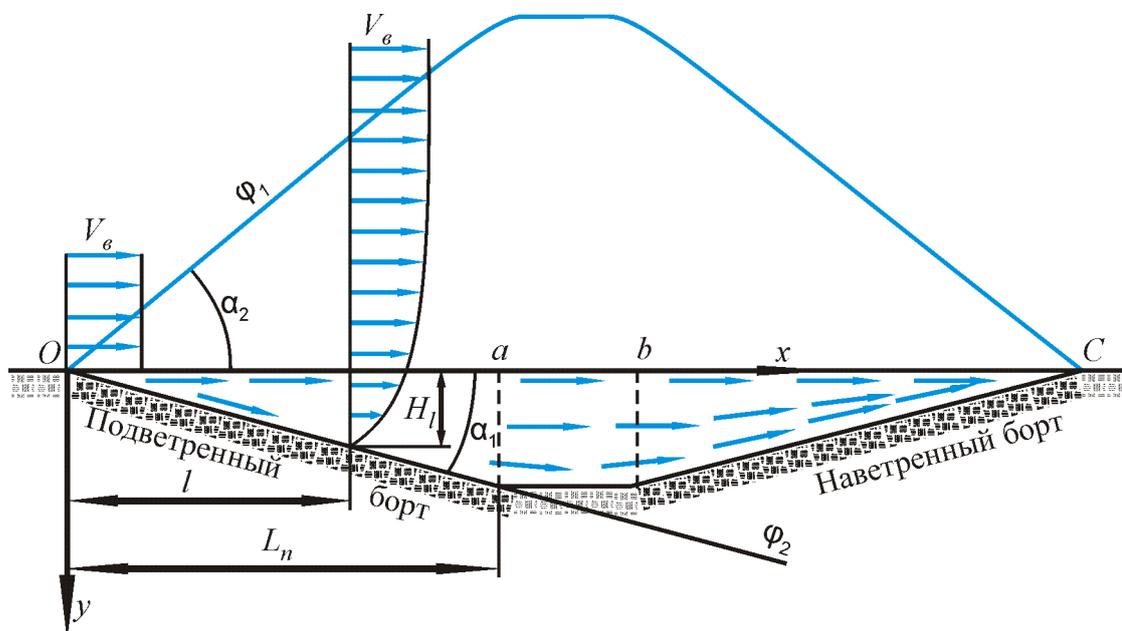


Рис. 23.1 – Прямоточная схема проветривания карьера

Граница зоны постоянных скоростей над карьером φ_1 , выше которой скорость воздуха равняется скорости его на поверхности (V_0) далеко за пределами карьера, составляет с плоскостью горизонта угол $\alpha_2 \approx 40^\circ$. Таким образом, между поверхностями карьера (борт, дно) и границей зоны постоянных скоростей φ_1 происходит изменение скорости движения воздуха от нуля возле твердых поверхностей к V_0 на границе φ_1 .

При прямоточной схеме, скорость движения воздуха в точке карьера с координатами (x, y) определяется по формуле

$$V_{np} = 0,725V_0 \cdot \cos\left(5,85\frac{y}{x}\right).$$

Область действия этой формулы:

$$1,57 < 5,85\frac{y}{x} < 0.$$

Минимальная скорость движения воздуха на рабочих горизонтах (V_{min}) должна быть достаточной для выноса вредных веществ.

$V_{min} = 0,15...0,25$ м/с – для вредных газов, 0,6 м/с – для пыли.

При прямоточной схеме проветривания карьера критическая скорость ветра на земной поверхности, обеспечивающая в точке с координатами (x, y) скорость воздуха V_{min} составляет

$$V_{кр} = \frac{V_{min}}{0,725 \cdot \cos\left(5,85 \frac{y}{x}\right)}.$$

Скорость воздуха на участке $O-a$ уменьшается при возрастании x вследствие расширения струи, а на участке $b-C$ увеличивается вследствие ее сужения.

На схемах обычно не указывают слой воздуха, в котором скорость, вследствие трения о твердые поверхности (борта и дно) карьера, падает до нуля, в связи с небольшой толщиной слоя и мелкого масштаба схем.

С некоторым приближением можно считать, что карьер проветривается воздухом, который движется между осью $O-x$ и поверхностью карьера.

Объем воздуха, который проходит в единицу времени через плоскость, расположенную в произвольном поперечном сечении воздушного потока, имеющего размер H по вертикали и L_n по горизонтали (т.е. для всего карьера) имеет вид

$$Q_{кр} = 0,124 V_{г} L_n \sin\left(5,85 \frac{H}{L_n}\right),$$

где H – глубина карьера, м.

Прямоточная схема проветривания карьера является наиболее благоприятной. При такой схеме в карьере не образуются застойные зоны больших размеров, и вредности интенсивно выносятся из карьера. Однако не исключаются случаи местного загрязнения атмосферы близ источников выделения вредностей. Общее загрязнение атмосферы карьера не происходит. Чем меньше угол откоса бортов карьера, тем лучше вредности выносятся из карьерного пространства. При увеличении угла откоса воздушный поток больше расширяется, вследствие чего уменьшается скорость воздуха.

При прямоточной схеме условия проветривания подветренного и наветренного бортов карьера не одинаковы. Подветренный борт проветривается чистым воздухом, поступающим с поверхности. Наветренный борт проветривается воздухом, частично омывающим подветренный борт и дно карьера, и таким образом, содержащим определенное количество вредностей.

Прямоточная схема движения воздуха в карьере характерна для первой стадии разработки месторождений открытым способом, а также для условий разработки пологих и горизонтально-залегających полезных ископаемых.

Недостатком прямоточной схемы является то, что при увеличении размеров карьера толщина слоя с маленькими скоростями потока возле поверхности уступов и в глубокой части карьера также увеличивается, а при наличии в карьере разных углублений, в них получают в особенности неблагоприятные условия вследствие образования слабо проветриваемых и застойных зон.

Рециркуляционная схема проветривания карьера (рис. 23.2) возникает при скорости ветра на поверхности более чем 0,8...1 м/с и угле откоса подветренного борта более 15°.

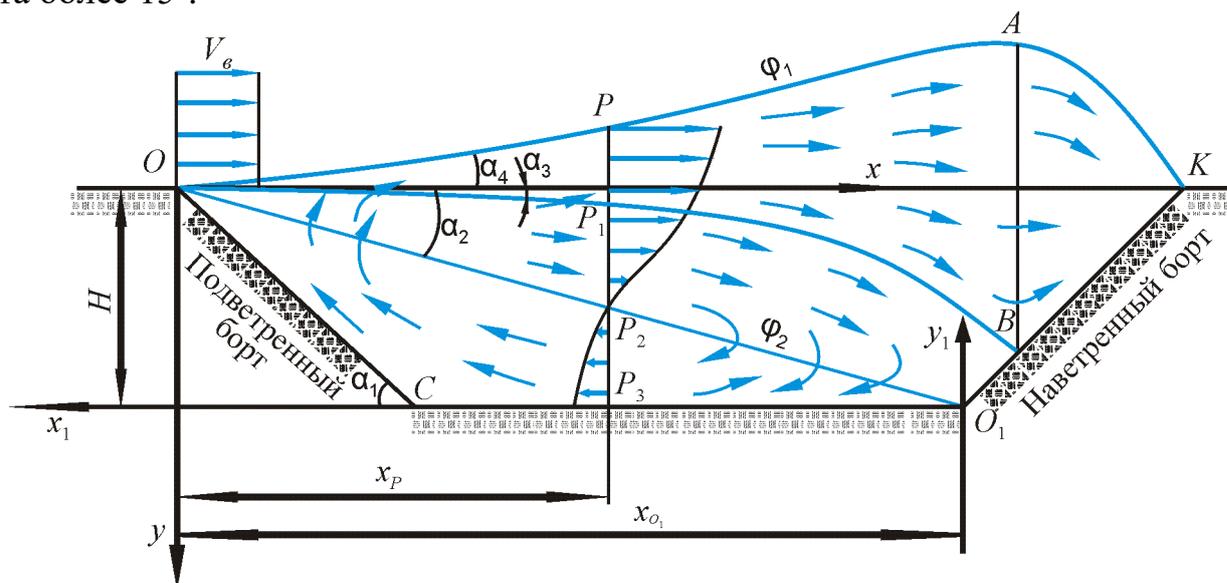


Рис. 23.2 – Рециркуляционная схема проветривания карьера

При этой схеме на линии пересечения земной поверхности с подветренным бортом карьера за счет значительных сил инерции возникает отрыв потока воздуха от твердой поверхности. Это приводит к тому, что воздух в карьерном пространстве движется в виде плоско-параллельной струи. Границами этой струи являются линии φ_1 и φ_2 .

Выше границы φ_1 скорость воздуха равняется скорости ветра на поверхности. Свободный поток в точке B наветренного борта делится на две части. Первая часть, движущаяся вдоль уступа, выходит на поверхность. Вторая, которая поворачивает вниз, движется в противоположном направлении. Поток в границах свободной струи между линиями раскрытия струи φ_1 и φ_2 является струей I рода. Поток воздуха, движущейся в противоположном направлении является струей II рода.

Струя I рода – это зона попутного движения воздуха, который совпадает с направлением ветра. Внешняя граница потока I рода проходит под углом α_4 , внутренняя граница – под углом $\alpha_2 \approx 15^\circ$ (линия $O-O_1$).

Поток II рода – это зона обратного движения, в котором карьерный воздух имеет противоположное направление относительно направления ветра на поверхности. Это зона, расположенная между линией $O-O_1$ и подветренным бортом карьера. α_1 – угол наклона подветренного борта карьера.

На линии размежевания этих двух зон имеют место участки с порывистым движением воздуха самых разных направлений.

Из зоны обратного потока воздух возвращается вверх и снова поступает в зону попутного потока. Этот поворот начинается левее пересечения PP_1 . В зоне OP_1BO_1CO имеет место рециркуляция одних и тех же объемов воздуха. Это и определяет название схемы.

Точка O_1 в месте пересечения границы φ_2 свободной струи I рода с поверхностью карьера не обязательно должна совпадать с вершиной угла, который образуется дном карьера и наветренным бортом. Если размер карьера в направлении ветра будет более коротким, чем на рис. 23.2, то точка O_1 будет находиться на

наветренном борту карьера и приближаться к точке K при уменьшении размеров карьера.

Ядро постоянной массы свободной струи I рода, в которой расход воздуха в любом сечении равен расходу на входе в карьер, находится между прямыми OP и OP_1 , которые образуют с осью Ox углы $\alpha_4=7...11^\circ$ и $\alpha_3=1^\circ25'$.

В зоне попутного потока скорость воздуха уменьшается при возрастании глубины карьера. На границе струи φ_2 продольные скорости воздуха равны нулю, а поперечные – отличны от нуля.

В зоне обратного воздушного потока скорость воздуха при увеличении глубины возрастает и достигает максимума возле поверхности карьера. На дне карьера максимальная скорость в вихревой зоне находится в сечении $P-P_3$, положение которого определяется абсциссой

$$x_P=0,6 x_{O1},$$

где x_{O1} – абсцисса точки O_1 , которая находится в точке пересечения линии OO_1 с поверхностью карьера.

Вынос вредностей из карьера осуществляется ядром постоянной массы. Поступление вредностей в это ядро происходит на начальном участке из P_2OP_1 струи I рода, которая заполняется присоединенными массами. Ниже границы OP_1V ядра постоянной массы примеси вредностей, которые поступили в воздух, находятся в циркуляционном движении.

При величине интенсивности выделения вредностей, которая стабилизировалась, их количество, которое поступает в атмосферу карьера, равняется количеству, которое выносятся из карьера ядром постоянной массы.

При рециркуляционной схеме проветривания значительная часть рабочих поверхностей карьера (подветренный борт, дно и часть наветренного борта) находятся в зоне действия рециркуляционных потоков.

Рециркуляционно-прямоточная схема проветривания карьеров возникает при наличии угла склона подветренного борта карьера 15° и более, при отношении размера карьера на уровне земной поверхности в направлении ветра к глубине карьера 8...10 и более. При этом внешняя граница приграничного слоя пересекает дно карьера или один из уступов подветренного борта (рис. 23.3). В этом случае объемы карьера, которые прилегают к подветренному борту карьера, проветриваются по рециркуляционной схеме, а объемы, которые лежат за пределами зоны действия струи II рода – по прямоточной.

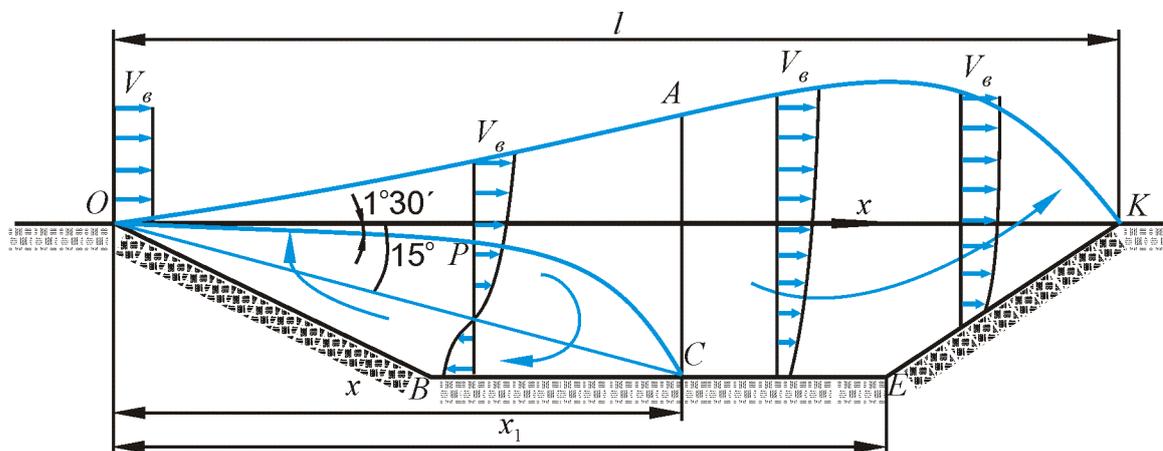


Рис. 23.3 – Рециркуляционно-прямоточная схема проветривания карьера

В загрязнении общей атмосферы карьера принимают участие внутренние источники выделения пыли и газов, которые находятся в зоне рециркуляции, а также внешние, которые расположены с наветренной стороны карьера. Вредные примеси от источников, расположенных на участке карьера *ОВС*, при их движении распределяются по всему сечению *АС*, а также заносятся в другой объем карьера.

Распределение скоростей воздушного потока в зоне рециркуляции подчиняется закономерностям движения воздуха в турбулентных струях первого и второго рода, которые возникают при рециркуляционной схеме, а в другом объеме карьера (участок *СК*) – зависимости, которая занимает промежуточное положение между законами распределения скоростей в приграничном слое рециркуляционной схемы и слое деформации поля скоростей при прямоточной схеме. При большой протяжности карьера в направлении движения ветра, эта зависимость переходит в закон распределения скоростей прямоточной схемы. Минимальная скорость потока имеет место в точке *С* и составляет $(0,1...0,15)V_в$.

При отделении от точки *С* к наветренному борту, скорость воздуха возле дна карьера и поверхности уступов увеличивается и достигает своего максимума возле верхней бровки карьера, где она достигает значения $V_в$.

При маленьких скоростях ветра и большой интенсивности источников вредных выделений, их количество может превысить предельно допустимые концентрации. Исходя из этого, состав общей атмосферы карьера при рециркуляционно-прямоточной схеме следует оценивать по количеству вредных примесей в зоне рециркуляции.

В случае если концентрации примесей в зоне рециркуляции не более, чем в 2 раза превышают предельно допустимые, то в другой части карьера они будут меньше их.

Прямоточно-рециркуляционная схема проветривания карьеров (рис. 23.4) возникает при промежуточном угле склона подветренного борта карьера, если имеет место равномерная отработка группы уступов верхней части борта с результирующим углом склона этой группы уступов $\leq 15^\circ$ и отработывание нижних уступов с результирующим углом склона этой группы уступов $> 15^\circ$.

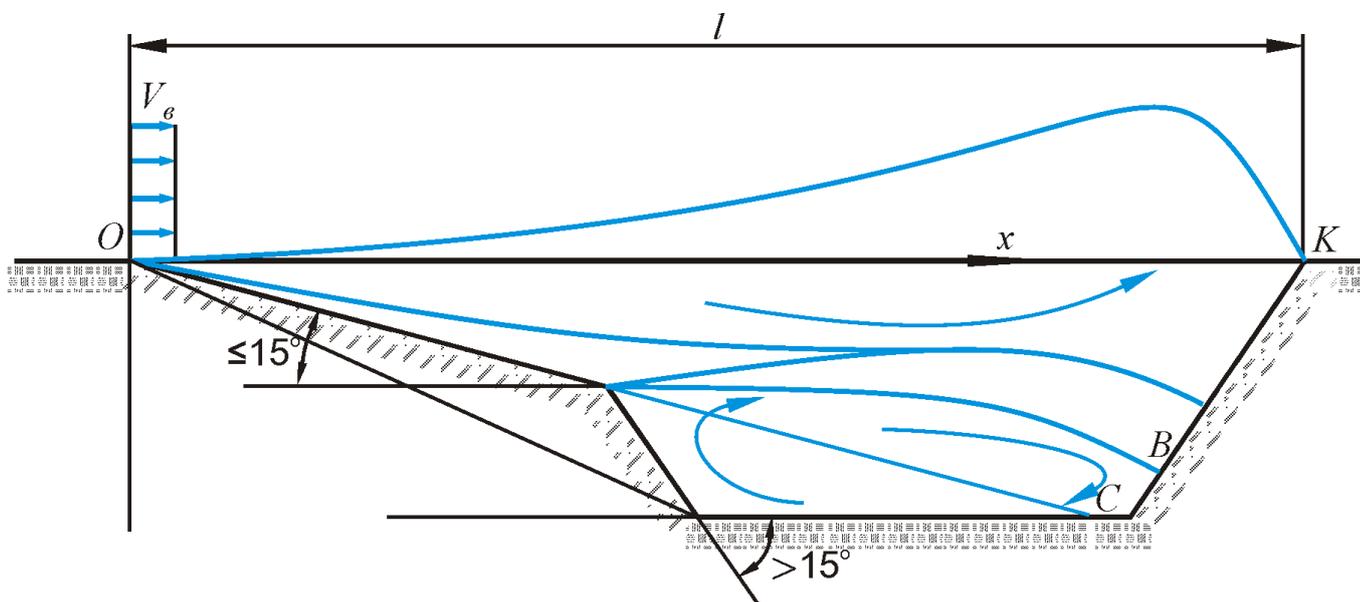


Рис. 23.4 – Прямоточно-рециркуляционная схема проветривания карьера

Большим недостатком этой схемы проветривания является то, что движение воздуха в объеме зоны рециркуляции формируется ветровым потоком, который ослабляется при увеличении глубины. Скорость воздушного потока в глубокой части карьера при ветре 5-6 м/с не превышает 1 м/с.

Состав общей атмосферы карьера должен оцениваться по количеству вредных примесей в зоне рециркуляции.

23.5 Проветривание карьеров действием термических сил

Конвективная схема проветривания (рис. 23.5) возникает при прогретых бортах карьера и маленькой скорости ветра на поверхности. Прогретье борта нагревают слои воздуха находящиеся над ними, после чего нагретый воздух начинает подниматься вверх, а на его место сверху опускаются холодные массы воздуха. Явление такого перемещения поясняется разной степенью нагрева отдельных объемов воздуха в одной и той же горизонтальной плоскости.

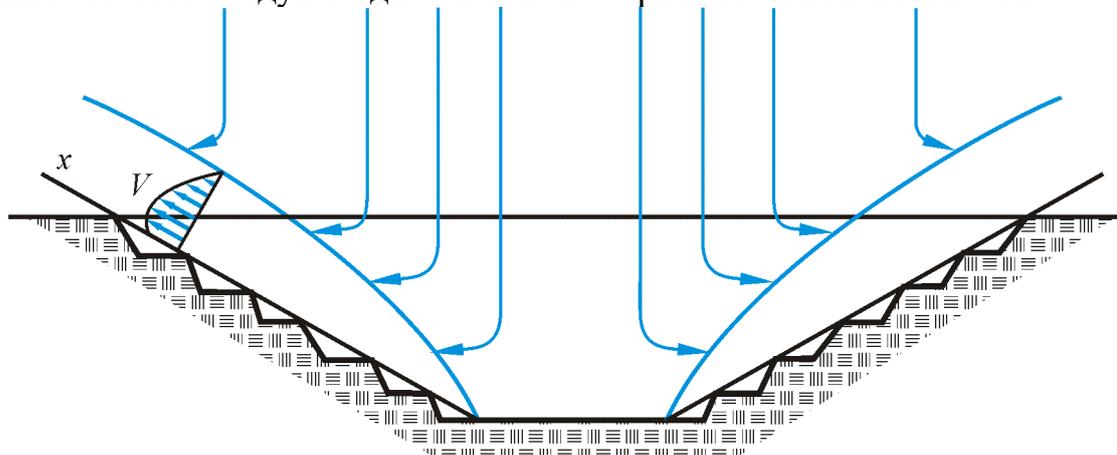


Рис. 23.5 – Конвективная схема проветривания карьера

Общий прогрев бортов вызовет движение в объеме всего карьера. Кроме общекарьерных возникают конвективные потоки, которые вызваны разной степенью прогретости поверхности карьера. Причинами этого явления могут быть разная освещенность, поглощающая способность пород (разный цвет, их физические свойства), разный нагрев глубинным теплом, неодинаковые интенсивности окислительных процессов на поверхности и др.

Конвективный поток воздуха возникает при скорости ветра не более 0,7-0,8 м/с. При уменьшении скорости ветра конвективное движение воздуха в карьере усиливается, а при увеличении – в карьере развивается интенсивный турбулентный обмен воздуха, который оказывает содействие тому, что тепло, которое поступает в атмосферу карьера от его бортов, не накапливается возле них, а распространяется на весь объем карьерного пространства. Исключение составляет слой воздуха толщиной 1-2 м, прилегающего непосредственно к поверхности уступов.

При уменьшении энергии ветра турбулентность, как и обмен воздуха в карьере, уменьшается. Вследствие этого слои воздуха, расположенные ближе к источникам тепла (поверхностям карьера), прогреваются более сильно, чем более отдаленные. При этом увеличивается вертикальный температурный градиент карьерного воздуха, который начинает превышать значения градиента,

соответствующего безразличному равновесию атмосферы ($1^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$). Это вызывает возникновение конвективных потоков воздуха, которые приводят к движению вверх.

При конвективной схеме проветривания карьера массы теплого воздуха поднимаются вверх не вертикально, а вдоль уступов, что обусловлено прижимающим эффектом более холодных масс воздуха, которые опускаются вниз. При этом объем воздуха, который поднимается из карьера увеличивается вследствие его расширения. Наиболее мощные конвективные потоки наблюдаются возле верхних уступов.

Причинами образования конвективных потоков в карьере могут быть: солнечная радиация, внутренние источники тепловыделения (например, окислительные процессы и эндогенные пожары), глубинное тепло Земли, тепловыделение от работающего оборудования.

Главная роль в образовании конвективных потоков принадлежит солнечной радиации. Величина угла падения солнечных лучей зависит, как от положения Солнца, так и от положения облучаемой поверхности. На величину инсоляции значительно влияет прозрачность атмосферы. По некоторым данным, приблизительно 20 % ослабляется за счет поглощения и рассеивания в атмосфере, и еще на 20-30 % дополнительно ослабляется при наличии облачности. Некоторая часть радиации отражается от облучаемой поверхности и не принимает участия в ее нагревании. Разность между суммарной и отраженной радиацией называется остаточной. Если определить температуру грунта и воздуха, то можно рассчитать скорость конвективного потока, который обусловлен солнечной радиацией.

Инверсионная схема проветривания (рис. 23.6). Чтобы она возникла необходимо охлаждение бортов карьера и отсутствие значительного ветрового потока на поверхности. Скорость ветра не должна быть больше 0,7-0,8 м/с.

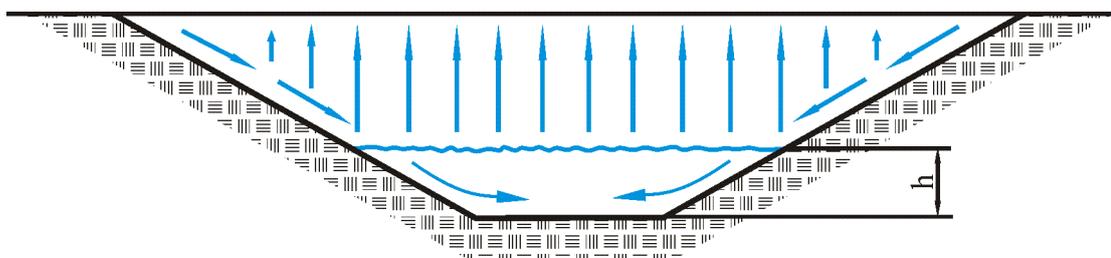


Рис. 23.6 – Движение воздуха в карьере при инверсионной схеме

Уменьшение удельной кинетической энергии ветрового потока приводит к такой температурной стратификации (*распределение температуры воздуха по высоте*), при которой слои воздуха прилегающие к холодным поверхностям бортов, охлаждаются в большей мере, чем отдаленные. Таким образом, создаются условия для перемещения вниз более холодных масс воздуха.

Инверсионное движение воздуха в карьере может возникнуть не только в случае охлаждения воздуха бортами карьера, но и при прохождении над карьером фронта холодного атмосферного воздуха. В этом случае потоки холодного воздуха поступают в карьер с поверхности. Прилегающие к бортам слои воздуха охлаждаются, и как более тяжелые, стекают вниз на дно карьера. Они проникают под слоями теплого воздуха, которые находились на дне карьера, и выжимают их.

По мере развития инверсии высота слоя холодного воздуха в нижней части возрастает. Если инверсия глубокая, то весь карьер может заполниться массами холодного воздуха.

Слой холодного воздуха, который заполняет карьерное пространство при инверсии, называется слоем инверсии. На рис. 23.6 его толщина равна h . Верхнюю границу слоя инверсии называют уровнем инверсии. Уровень инверсии приблизительно совпадает с уровнем, ниже которого возникает инверсия температуры, то есть отрицательный температурный градиент. Следует отметить, что при инверсионной схеме максимальная скорость воздуха возле поверхностей бортов не превышает 1 м/с. Эта скорость уменьшается в направлении потоков вниз, а под уровнем инверсии приближаются к нулю, то есть воздух находится в неподвижном состоянии.

Инверсии могут быть разной продолжительности в зависимости от условий. Инверсии, которые являются следствием радиационного охлаждения бортов, обычно кратковременные. Они возникают в ночное время при безоблачной погоде и исчезают после восхода солнца. Продолжительные инверсии могут существовать несколько дней. Они часто возникают в холодный период года, если радиационное охлаждение бортов превышает полученную ими инсоляцию. Такие инверсии существуют как в ночное время, так и днем. Продолжительные инверсии могут быть связаны также с прохождением над карьером холодного воздуха.

Режим движения воздуха при инверсионной схеме ламинарный, или близкий к нему. При таком режиме обмен воздуха в карьере затруднен, что обуславливает большое содержание газа и пыли в воздухе на значительном расстоянии от источника их образования. При инверсионной схеме вынос вредностей из карьера практически не происходит. Причиной этого является ограниченный обмен воздуха между слоем инверсии и вышележащими слоями воздуха.

В карьере, под уровнем инверсии накапливаются все вредности, которые образуются в карьере, как под уровнем инверсии, так и выше этого уровня. В карьер поступают также вредности, которые образуются внешними источниками, их заносит ветровой поток, который продвигается от верхней бровки вдоль бортов карьера.

Под уровнем инверсии возникают особенно неблагоприятные санитарно-гигиенические условия. Концентрация газов и пыли также может значительно превышать предельно допустимые уровни. В этом случае возможны острые отравления токсичными газами. Безопасность работ может ухудшаться в связи с образованием туманной дымки, которая снижает видимость. Во время глубокой инверсии работы прекращаются, а люди выводятся из карьера на поверхность.

23.6 Комбинированные схемы проветривания карьеров

Даже при достаточно сильном ветре на поверхности ветровой поток проникает в карьер на глубину не более 150-200 м. Ниже этого уровня энергия ветрового потока становится незначительной и не оказывает существенного влияния на формирование воздушных потоков в карьере. В этом случае воздушные потоки в карьере возникают под влиянием термических сил. Если один из бортов карьера охлажден, а другой по какой-то причине нагрет (например, вследствие горения полезного ископаемого), то возможно формирование конвективно-инверсионной

схемы проветривания карьера, при которой воздушный поток по одному борту будет двигаться вверх, а по другому – вниз.

При значительной глубине карьера в его проветривании принимают участие, как динамические силы ветра, так и термические силы. Ветровой поток, который возникает вследствие динамических сил, находится в верхней части карьера, а поток, возникающий под влиянием термических сил – в нижней.

Значительное распространение на практике имеет место прямоточно-инверсионная схема, если в верхней части карьера имеют место прямоточные ветровые потоки, а в нижней части – конвективные потоки.

Фактически общее действие ветра и термических сил наиболее часто встречается при естественном проветривании карьеров. В этом случае формируется ветровая (прямоточная или рециркуляционная) схема движения воздуха. При этой схеме термические силы могут изменять режим проветривания.

24. ИСКУССТВЕННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ

Существуют три способа борьбы с вредностями в карьере:

1. Подавление вредных веществ непосредственно возле источников их выделения.
2. Естественная аэрация за счет динамических и термических сил.
3. Искусственная вентиляция.

Искусственная вентиляция карьера – это интенсификация воздухообмена в нем любыми целенаправленными действиями человека. Целью искусственного проветривания может быть:

1. Разбавление и удаление вредностей на рабочих местах.
2. Проветривание застойных зон в штилевую или маловетреную погоду, или зон рециркуляции при ветровых схемах.
3. Проветривание карьерного пространства в целом, например, в периоды глубоких инверсий.

Существует два вида искусственного проветривания:

- 1) Вентиляция с использованием труб и горных выработок.
- 2) Вентиляция свободными струями, в том числе, с использованием струйных вентиляторов.

Основным видом является вентиляция свободными струями.

24.1 Интенсификация проветривания карьеров

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

Интенсифицировать воздухообмен в карьере можно ориентацией его длинной оси в плане по направлению господствующего ветра (если это позволяет расположение залежи полезного ископаемого). Из рис. 24.1а, видно, что при ориентации карьера длинной осью по направлению господствующего ветра площадь зоны рециркуляции в плане (заштрихованная область) составляет примерно половину площади карьера. При ориентации карьера короткой осью по направлению господствующего ветра (рис. 24.1б) объем зоны рециркуляции больше объема зоны прямого движения, а площадь зоны рециркуляции в плане у рассматриваемого карьера составляет 70-80 % его общей площади. В результате воздухообмен в карьере ухудшается.

Очевидно, что этот способ интенсификации воздухообмена приемлем лишь для вытянутых в плане карьеров. Возможности его применения бывают ограничены ориентацией и размерами залежи в плане и рельефом местности.

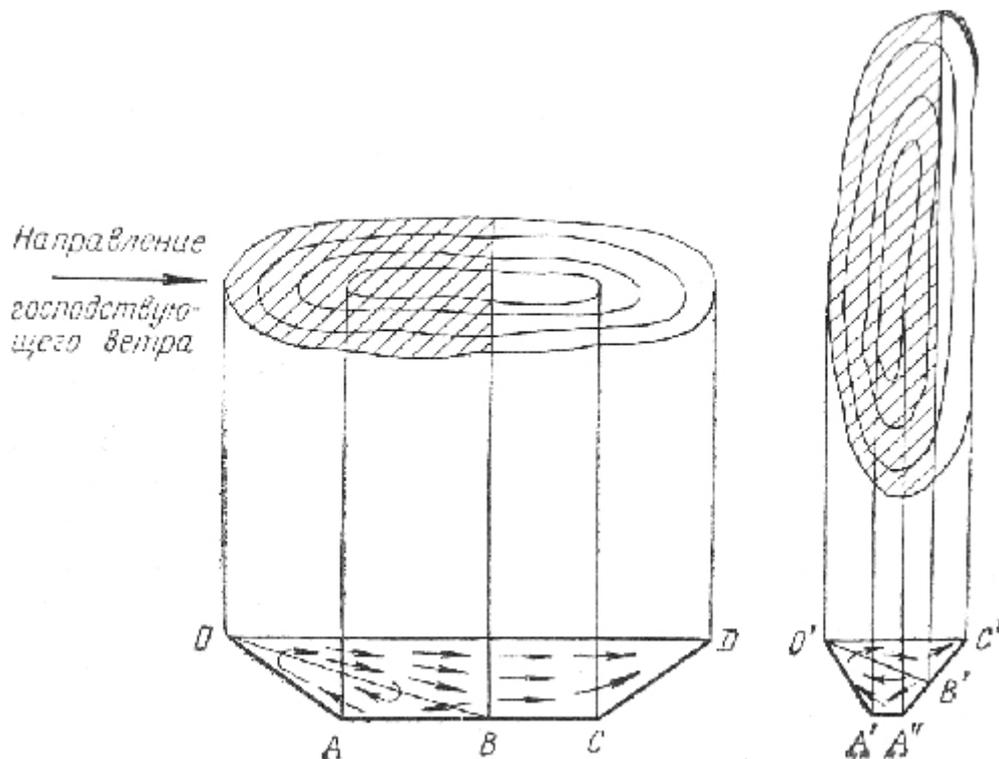


Рис. 24.1 – Ориентация карьера в плане относительно направления господствующего ветра

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

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

Вентиляция карьеров может быть улучшена при возведении на его поверхности сооружений типа отвалов, направляющих и турбулизирующих воздушный поток. Для этих же целей можно использовать и расположенные у карьеров здания. Подобные сооружения, называемые воздухозаборами (рис. 24.2), позволяют увеличить скорость ветрового потока над карьером на 10-20 %. Хорошие результаты получаются при большем расстоянии l между отвалами, которое не должно превышать ширину карьера. Оптимальный угол α между сооружениями равен примерно 70° .

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

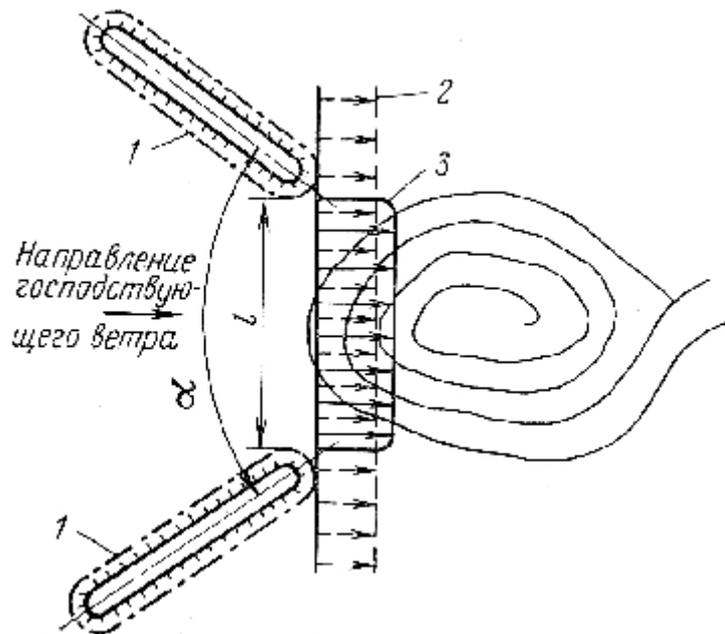


Рис. 24.2 – Схема воздухозабора: 1 – отвалы; 2 и 3 – эпюры скорости ветрового потока над карьером соответственно при отсутствии и наличии воздухозабора

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

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

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

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

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

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

24.2 Проветривание карьеров при использовании труб и горных выработок

При этом способе искусственной вентиляции на бортах карьера располагают трубопроводы, или сооружают подземные выработки с поверхности к определенному борту или вплоть до дна карьера, по которым с помощью вентиляторов подается воздух.

Существует два способа проветривания с помощью вентиляторов: нагнетательный и всасывающий.

При нагнетательном способе (рис. 24.3) чистый воздух забирается с поверхности или верхнего горизонта вентиляторной установкой и подается по трубопроводу или выработке в карьер, где расширяется в виде свободной струи. Вентиляторная установка может размещаться как на поверхности, так и любом месте по длине трубопровода (выработки).

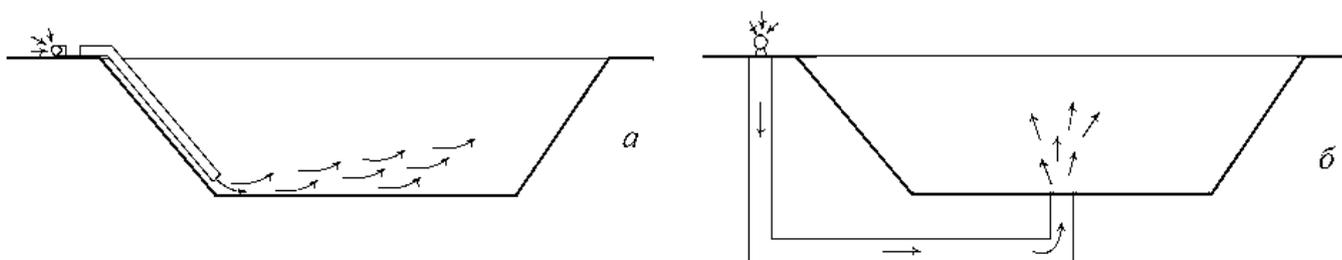


Рис. 24.3 – Схема проветривания карьера нагнетательным способом:
а – с применением труб и б – с использованием выработок

При всасывающем способе (рис. 24.4) загрязненный воздух будет удаляться из карьера через трубы и выработки и выбрасываться за его границы.

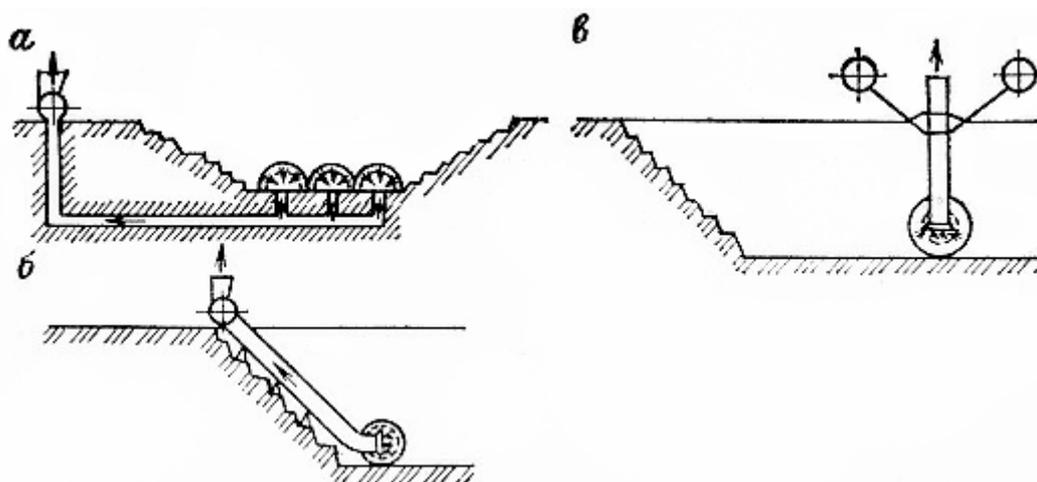


Рис. 24.4 – Варианты всасывающего проветривания карьера:
а – с использованием подземных выработок;
б – через трубы проложенные по борту карьера;
в – с использованием вертикальных труб поддерживаемых с помощью аэростатов

Преимущества нагнетательного способа:

- 1) Благодаря наличию потока со значительной скоростью воздуха на выходе из трубопровода происходит интенсивное вымывание вредностей на рабочем месте.
- 2) Быстрее заканчивается удаление вредностей и более равномерно происходит их растворение в атмосфере рабочих мест.
- 3) Через трубопровод на рабочее место поступает свежий воздух, который обеспечивает относительно быстрое его проветривание.
- 4) Имеется возможность использования гибкого трубопровода.
- 5) Возможно проветривание относительно больших объемов карьера, в сравнении с всасывающим способом.
- 6) Возможно использование имеющихся горных выработок (сооруженных во время добычи полезных ископаемых) для вентиляции карьеров.
- 7) Турбулентный режим движения воздуха создает интенсивное его перемешивание и более равномерное рассредоточение.

Недостатки нагнетательного способа проветривания:

- 1) Обдувание рабочих мест скоростным потоком может привести к простудным заболеваниям работников.
- 2) При большой скорости воздуха на выходе из трубопровода может сдуваться пыль, которая ранее осела на поверхности карьера.
- 3) Перемещение облака пыли и других вредностей по карьерному пространству, иногда с концентрацией превышающей предельно допустимую величину. В этих случаях вредности, которые вымываются с одного рабочего места, могут поступать на другие рабочие места.
- 4) На эффективность проветривания оказывает большое влияние наличие ветровых потоков в карьере.

Преимущества всасывающего способа проветривания:

- 1) Изолированный отвод вредностей от рабочего места. При наличии в карьере разветвленной системы аспирационных каналов, удаление вредных веществ возможно обеспечить непосредственно от мест их образования.
- 2) Загрязненный воздух, как правило, выбрасывается за границы карьера.
- 3) Отсутствие сдувания пыли ранее осевшей на грунт. Недостатки всасывающего проветривания:

1) Незначительный радиус засасывания вредностей. В этом случае возникает необходимость расположения всасывающих устройств на близком расстоянии от источников образования вредностей (иногда не недопустимо близкое расстояние, например, в случае взрывных работ).

2) В ряде случаев возникает потребность в значительном количестве всасывающих установок.

3) Необходимость иметь жесткий (например, металлический) трубопровод, который уменьшает маневренность при его использовании и увеличивает трудоемкость работ.

4) Незначительная интенсивность снижения количества вредностей, и вследствие этого, большая продолжительность проветривания.

5) Значительные затраты на сооружение вентиляционной системы.

24.3 Проветривание карьеров при использовании свободных струй

Для создания свободных струй возможно использования установок трех видов:

1. Установки на базе вентиляторов.
2. Установки на базе авиационной техники.
3. Тепловые установки.

Для вентиляции карьеров могут использоваться обычные шахтные вентиляторы, а также специально сконструированные. Применяются турбовинтовые и турбореактивные двигатели, а также несущие винты вертолетов.

Тепловые установки базируются на принципе конвективного движения подогретых масс воздуха. Основными частями указанных установок являются тепловыделяющие элементы.

Свободные струи могут быть изотермическими и неизотермическими. Температура воздуха в изотермических струях не отличается или почти не отличается от температуры окружающего воздуха. Изотермические струи создаются установками на базе вентиляторов, а также установками, в которых используются авиационные винты, обычные дизельные или электрические двигатели.

Величина перегрева воздуха в установках на базе вентиляторов или авиационных двигателей, не превышает нескольких десятков градусов, а перегрев в установках на базе турбореактивных двигателей достигает нескольких сотен градусов.

К установкам на базе турбовинтовых двигателей относится АИ-20КВ, в которой использован двигатель самолета ИЛ-18, который устанавливается на платформе и перевозится автомобилем КРАЗ.

Установка НК-12КВ имеет двигатель самолета ТУ-114, установленный на ходовой тележке экскаватора, предназначена для вентиляции карьеров и застойных зон, объемом до 200 млн. м³ и глубиной до 300 м. Может применяться для ликвидации температурных инверсий.

Установка УВУ-1 имеет двигатель самолета ТУ-104 на платформе автомобиля БЕЛАЗ-540 и предназначена для общекарьерной вентиляции.

К установкам местного проветривания относятся установки УМП-1, УМП-14, УМП-21. Установка УМП-1 имеет четырехлопастной авиационный винт от самолета АН-2. Винт диаметром 3,6 м, установлен в передней части автомобиля БЕЛАЗ-548А. Установка оснащена форсунками и гидромонитором. Форсунки предназначены для орошения взвешенной пыли, гидромонитор – для увлажнения массы, разрушенной взрывом, а также для полива автодорог. Установка предназначена для вентиляции и дождевания застойных зон, объемом до 20 млн. м³, а также для нанесения покрытия на поверхности карьера, с которых поднимается пыль.

Установка УМП-14 имеет винт от вертолета МИ-14А, диаметром 14,4 м, образует вертикальную струю высотой до 200 м.

Установка УМП-21 имеет в своей основе несущий винт вертолета МИ-14, диаметром 21 м, дальнобойность вертикальной струи достигает 400 м.

Установки, работающие на базе авиационной техники, сами по себе являются мощными источниками загрязнения атмосферы карьера, особенно канцерогенами. Количество выбросов многих загрязнителей от них равно выбросу от нескольких десятков большегрузных автосамосвалов. Только две установки УМП-14 и УМП-21 работают от электропривода.

Установка УТ-ЛФИ-2 имеет два ряда тепловыделяющих элементов, расположенных на металлической ферме (стреле), длиной 8 м, смонтирована на тракторном прицепе. Вертикальная дальность теплового конвективного потока достигает 500 м.

Установка УПК-1 изготовлена в виде вертикального цилиндра диаметром 10 м и высотой 5 м. Работает на дизельном топливе, вертикальная дальность до 300 м.

Установка УПК 60/300 – это газотурбинная установка, имеющая 4 камеры сгорания, которые располагаются на автоприцепе с грузоподъемностью 40 т. Кабина состоит из двух отделов: оператора и машинного.

Во время горения дизельного топлива в свободных факелах (например, в установке УТ-ЛФИ-2) часть топлива не принимает участия в горении и в виде тумана рассеивается вокруг установки. При продолжительной работе на одном месте вся близкорасположенная поверхность карьера покрывается слоем топлива. Установка не имеет кабины для оператора, поэтому при его постоянном присутствии одежда насыщается топливом. Наличие мощной тепловой радиации от открытых горящих факелов топлива, делает установку довольно опасной в пожарном отношении. Горение топлива на грунте под стрелой установки наблюдается регулярно.

Тепловые установки целесообразно использовать при инверсионном состоянии атмосферы, так как они способны разрушить инверсионное распределение температур. Но если установки не в состоянии "пробить" слой инверсии и выбросить продукты сгорания за границы карьера, то они не только не проветривают, а даже загрязняют атмосферу карьера благодаря большому количеству токсичных газов от сгорания значительного количества топлива.

Приведем общие принципы конструирования схем искусственной вентиляции.

1. Для проветривания карьеров с использованием труб и горных выработок следует принимать нагнетательный способ, как более эффективный.

2. При проветривании застойных зон вентиляторные установки следует располагать в зоне чистого воздуха.

3. Энергия вентиляционной струи должна максимально использоваться во внутреннем карьерном пространстве. Ее потери вне границ карьера должны быть минимальными. Это обеспечивается тем, что скорость воздуха в струе на выходе из карьера не должна значительно превышать скорость, которая необходима для выноса из карьера вредных газов и пыли. Кроме повышения эффективности проветривания в карьерном пространстве это уменьшает расстояние, на которое переносятся вредности за границы карьера. Оптимальным считают такое положение, когда выход струи за границы карьера не превышает 15-20 % общей ее длины.

4. При общеобменной вентиляции в условиях общего загрязнения атмосферы карьера эффективность работы вентиляторной установки повышается, если направление вентиляционной струи не остается постоянным, а периодически искусственно изменяется с течением времени с целью максимального увеличения объема, который обрабатывается вентиляционной струей (такая схема носит название динамической схемы вентиляции).

5. При выборе местоположения вентиляционной установки необходимо учитывать форму карьера в плане. Струю целесообразно направлять вдоль длинной

оси карьера. Если карьер имеет круглую форму, то следует принимать работу с периодическим изменением направления струи.

6. Необходимо учитывать направление и скорость ветра на поверхности. Чем меньший угол между направлением ветра и осью вентиляционного потока, который создает вентиляционная установка, тем эффективнее будет проветривание.

24.3.1 Схемы местной вентиляции

При схемах местной вентиляции проветривают небольшие зоны загрязнения (экскаваторные забои, перегрузочные пункты, и т.п.), при которых возможно использование ВМП.

Вентиляторы выполняют две функции:

- 1) перемещают загрязнения в необходимом направлении от рабочего места;
- 2) рассеивают загрязнения в атмосфере карьера.

Проветривание может проводиться воздушными и воздушно-водными струями. Воздушные струи обеспечивают поддержание концентрации вредных веществ в воздухе на допустимом уровне путем разбавления или выноса их за границы проветриваемой зоны. Воздушно-водные струи в процессе своего развития очищают воздух от пыли и растворимых газов, а в жаркий период года обеспечивают кондиционирование воздуха в застойных зонах карьера.

Установки местного проветривания обеспечивают эффективную вентиляцию отдельных застойных зон и участков, объемом до 12 млн. м³. Предельные размеры проветриваемой зоны при фиксированном направлении воздушной или воздушно-водной струи составляют 350 м по длине и до 250 м по ширине. При использовании механизма поворота струи в горизонтальной плоскости, размеры проветриваемой зоны по длине не изменяются, а по ширине увеличиваются до 450-500 м. При размерах проветриваемой зоны значительно больше вышеуказанных, необходимо использовать несколько установок. В зависимости от геометрических размеров проветриваемой зоны, интенсивности и расположения источников пылегазовыделения, принимается соответствующая схема проветривания.

На рис. 24.5. приведена схема проветривания одной горизонтальной или наклонной струей.

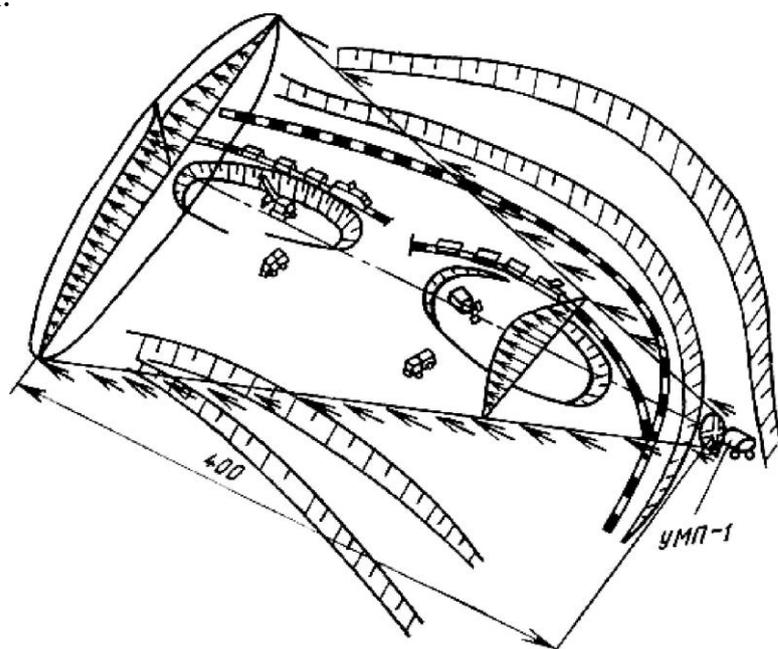


Рис. 24.5 – Схема вентиляции и гидрообеспыливания застойной зоны одиночной струей

Проветривание застойной зоны может осуществляться системой вентиляционных струй, которая создается двумя или несколькими установками по параллельной или последовательной схеме. На рис. 24.6 приведено параллельное размещение установок.

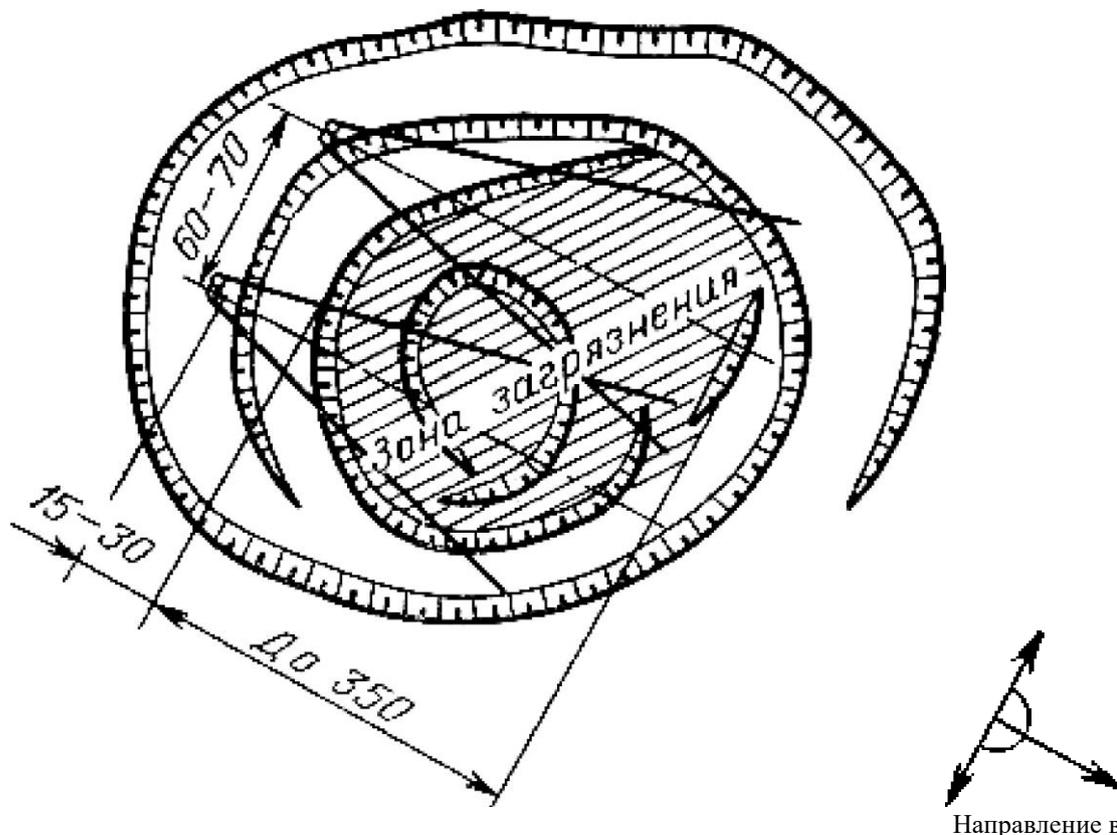


Рис. 24.6 – Схема вентиляции застойной зоны карьера параллельными струями

На рис. 24.7 приведено последовательное (каскадное) размещение установок.

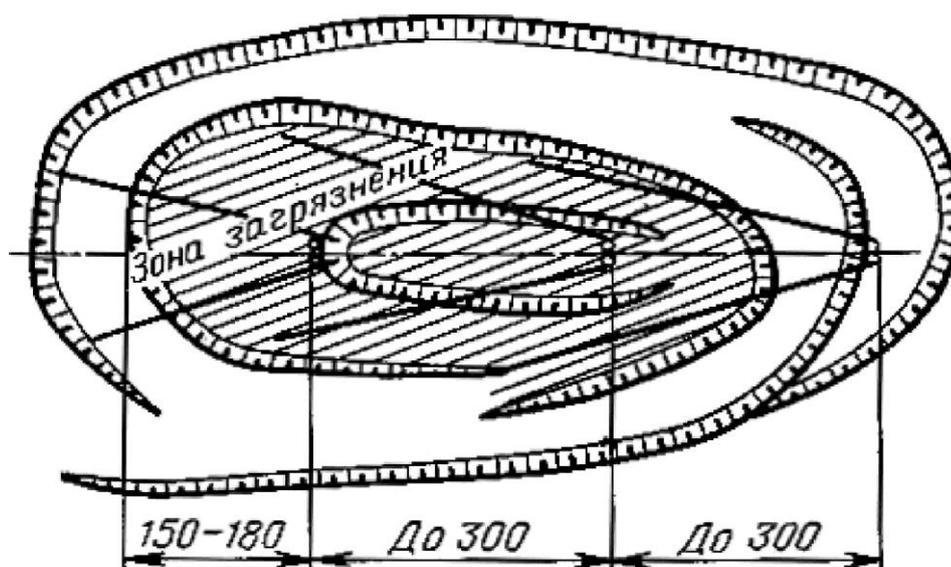


Рис. 24.7 – Схема вентиляции застойной зоны карьера с помощью каскадно расположенных установок

Вентиляционные установки должны располагаться вне границ зоны загрязнения на один уступ выше, чтобы подавать свежий воздух. При каскадной

установке вентиляторов может быть исключение, когда один вентилятор располагают в зоне чистого воздуха на один уступ выше, а остальные располагаются в загрязненной зоне. При эпизодическом выделении вредных веществ (например, после взрыва) режим проветривания определяется из условия разбавления вредностей до ПДК за определенный промежуток времени. При непрерывном выделении вредностей режим работы вентиляторных установок принимается циклический, а именно, после снижения в проветриваемой зоне концентрации примесей до заданной величины, установки выключаются на период накопления вредностей до уровня ПДК, а потом снова включаются в работу. При эпизодических загрязнениях или при незначительной интенсивности выделения вредностей эффективным является их разбавление в границах карьера. При активном выносе вредностей из карьера вентиляторами всегда обеспечивается бесперебойная его работа при любой продолжительности штилевого периода.

Применение схем местной вентиляции определяется горнотехническими и метеорологическими условиями. Рассмотрим некоторые из них.

Для вентиляции небольших зон загрязнения (экскаваторные забои, перегрузочные пункты и т. п.) можно использовать передвижные вентиляторные установки на базе шахтных проходческих вентиляторов. При этом вентиляторы выполняют две функции: перемещают загрязнения в требуемом направлении (от рабочих мест) и рассеивают их в атмосфере карьера. Последнее возможно, если атмосфера достаточно чистая и имеет необходимую подвижность, чтобы удалить загрязнения из карьера. До некоторой степени можно применять схемы вентиляции с рассеиванием загрязнений и при незначительной подвижности атмосферы. В этом случае вредности, рассеиваясь, будут увеличивать общую загрязненность атмосферы. Длительность работы оборудования при этом определяется временем достижения опасного загрязнения атмосферы в целом.

Вентиляторы в рассматриваемых случаях могут располагаться на уровне рабочей площадки, верхних уступах или специальных фермах (рис. 24.8).

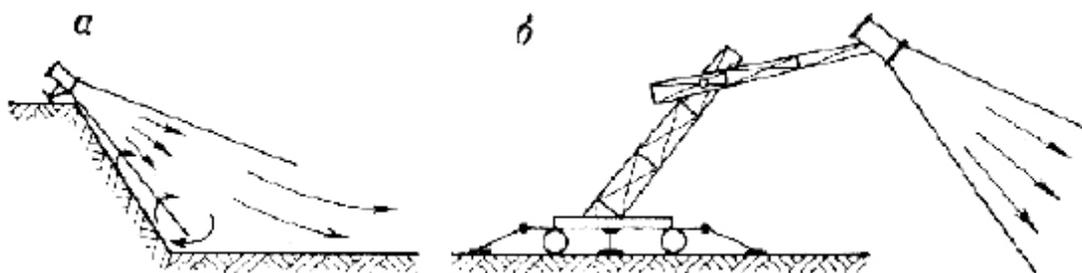


Рис 24.8 – Схемы расположения вентиляторов местного проветривания:
а – на верхнем уступе; б – на специальной ферме

Для интенсификации проветривания применяют нагнетательно-всасывающую схему вентиляции (рис. 24.9). При этом используют две вентиляторные установки, одна из которых работает на нагнетание, другая – на всасывание. При работе с использованием трубопроводов нагнетательная установка подает в проветриваемую зону чистый воздух, разбавляет загрязнения и перемещает их к всасывающей установке.

Вентиляторные установки располагают на таком расстоянии от загрязненных зон, на котором бы исключалась или была бы минимальной рециркуляция

загрязненного воздуха. При этом необходимо учитывать направление и скорость ветра.

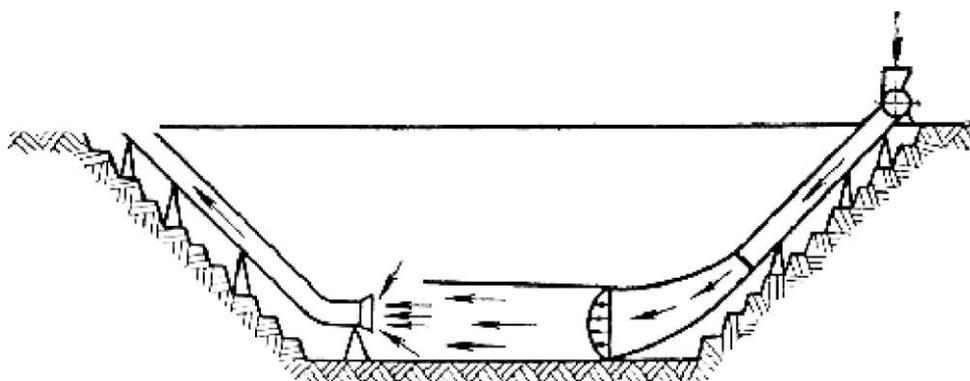


Рис. 24.9 – Схема нагнетательно-всасывающей вентиляции вентиляторными установками с применением трубопроводов

24.3.2. Схемы общеобменной вентиляции

При общеобменной вентиляции карьера могут применяться следующие схемы:

- 1) с использованием одиночных вентиляторов;
- 2) с использованием последовательно установленных вентиляторов;
- 3) с параллельной установкой вентиляторов;
- 4) с комбинированной установкой вентиляторов.

Схемы вентиляции при одиночной установке применяются при небольших размерах карьера. При неглубоких карьерах и прямоточной схеме проветривания вентиляторные установки могут размещаться на поверхности (рис. 24.10а). Применение такой схемы является рациональным при длине карьера в направлении действия вентиляционной струи, не более, чем дальность бросания струи. Вторым условием применения указанной схемы является незначительный уровень загрязнения атмосферы.



Рис. 24.10 – Схемы вентиляции карьеров вентиляторной установкой

При более глубоких карьерах вентиляционные установки (ВУ) целесообразно устанавливать на промежуточной берме, чтобы обеспечить активную вентиляцию нижней части карьера. Если карьер проветривается по рециркуляционной схеме (рис. 24.10б), то ВУ должны располагаться или выше зоны рециркуляции, или в ее верхней части, где атмосфера достаточно чистая, а направление действия свободной струи должно совпадать с направлением основного движения воздуха в зоне рециркуляции, то есть должна быть противоположной направлению ветра на поверхности.

Если карьер проветривается по прямоточной схеме (рис. 24.10в), то направление работы установки должно совпадать с направлением ветра на поверхности.

При глубоких ограниченных в плане карьерах, а также при значительной глубине зоны загрязнения, ВУ должна располагаться на дне карьера (рис. 24.11), создавая вертикальную струю. При этом искусственная струя должна быть достаточно мощной, чтобы обеспечить вынос загрязненного воздуха из карьера.

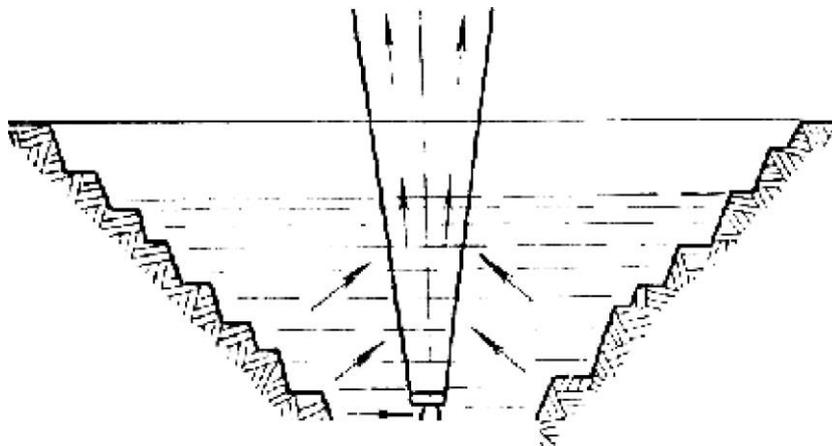


Рис. 24.11 – Схема вентиляции карьера вентиляторной установкой, расположенной на дне карьера и создающей вертикальную струю

В этом случае уровень загрязнения, как и уровень инверсии, снижается, а пространство над ним заполняется чистым воздухом. Необходимо чтобы горизонтальная скорость воздуха была достаточной для переноса вредностей. Если она недостаточна, необходимо переходить на схемы с общей работой нескольких ВУ.

Схемы проветривания с общей работой нескольких ВУ применяются при больших объемах зон загрязнения, если одна ВУ не обеспечивает эффективного проветривания.

Последовательная (каскадная) работа ВУ применяется для вентиляции узких щелевидных карьеров и траншей. В этом случае установки создают движение воздуха вдоль длинной оси карьера (рис. 24.12). Располагаются они на дне карьера, кроме первой, которую целесообразно устанавливать на вентиляционной берме. Для лучшего выноса вредностей последняя установка должна создавать струю, которая поднимается вверх. Расстояние (x) между ВУ определяется их дальностью. ВУ должны размещаться так, чтобы каждая следующая ВУ захватывала максимальный объем вредностей, которые переносятся к ней предшествующей установкой.

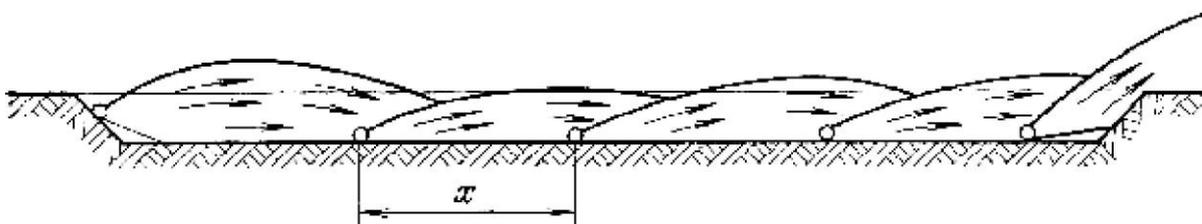


Рис. 24.12 – Схема последовательной (каскадной) работы вентиляторных установок

Если струя чистого воздуха распространяется в загрязненной среде, то максимальное количество вредностей будет на внешней границе, а минимальное - на оси. Наоборот, при поступлении в ВУ загрязненного воздуха, струя, которая распространяется в более чистой среде, имеет максимальную концентрацию вредных веществ на оси.

При очень глубоких карьерах, когда одна установка не обеспечивает создание восходящей струи, способной удалять загрязнения, возможно каскадное их расположение на борту (рис. 24.13).

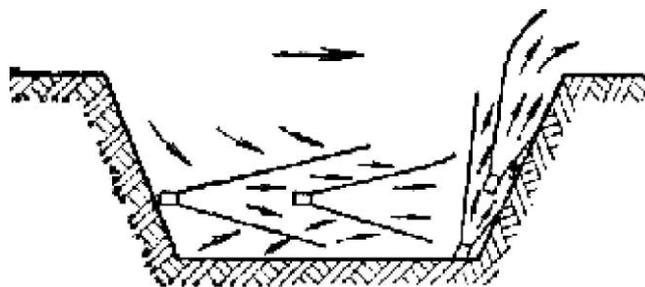


Рис. 24.13 – Схема вентиляции глубокого карьера каскадными восходящими струями

Необходимо иметь в виду, что восходящие струи должны иметь на выходе из карьера достаточную скорость для выноса загрязнений. Считается, что она не должна быть менее 0,6 м/с. Расположение восходящих струй относительно ветра на поверхности должно быть таким, чтобы исключить попадание выносимых загрязнений обратно в карьер. Например, если направление ветра изменится на противоположное по сравнению с указанным, то часть загрязнений, выносимых из карьера, вновь попадает в карьер. Чтобы не допустить этого, потребуется перемещение установок или изменение угла наклона струй (рис. 24.14).

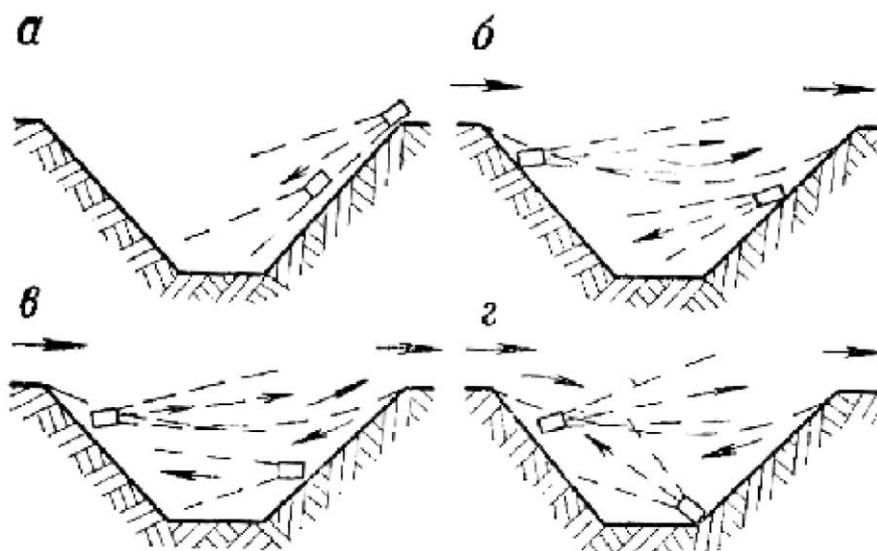


Рис. 24.14 – Схемы вентиляции глубокого карьера двумя последовательно работающими вентиляторными установками

При варианте *а* (рис. 24.14а) подача чистого воздуха с поверхности в глубокую часть карьера производится при отсутствии ветра. В случае применения вариантов *б*, *в* и *г* (рис. 24.14б, в и г) происходит интенсификация воздухообмена в зоне рециркуляции (на дне и нижних уступах карьера) при работе ВУ. Направление ветра на поверхности показано стрелками. Направление струи, создаваемой при работе установки в зоне рециркуляции, совпадает с направлением движения воздуха в этой зоне. Если размер карьера большой, число установок может быть увеличено.

Параллельная работа вентиляторных установок применяется при размерах зон загрязнений в плане, значительно превышающих поперечные размеры струй,

создаваемых установками. При размещении установок необходимо выбирать места их расположения так, чтобы обеспечить максимальное (в пределах расчетной дальности) развитие струй. При веерном расположении установок угол между осями струй не должен превышать 40° . В любом случае струя, создаваемая вентиляторной установкой, и ветровой поток должны быть направлены в одну сторону, а угол между ними должен быть менее 90° .

На рис. 24.15 показана работа нескольких вентиляторных установок по веерной схеме («сходящийся» веер). При ветре, ориентированном в I четверти, работают установки 1, 2 и 3; при ветре во II четверти – 1, 2, и 5; при ветре в III четверти – 3, 4, и 5; при ветре в IV четверти – 2, 3, 4, и 5. В зависимости от направления ветра, в границах каждой четверти некоторые из указанных ВУ могут не работать. Например, при ветре, близком к северному, использование установки 3 нецелесообразно.

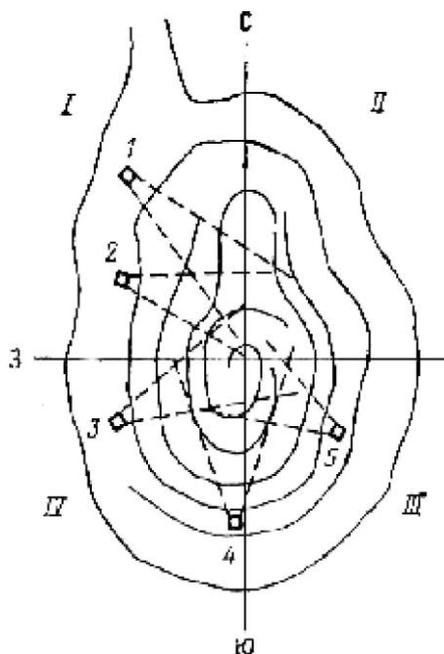


Рис. 24.15 – Схема веерной работы ВУ

Возможна комбинированная работа нескольких ВУ. Она используется тогда, когда не обеспечивается эффективная вентиляция только последовательной или параллельной работой ВУ. Например, возможна комбинация мощной вертикальной струи с несколькими горизонтальными струями, создаваемыми менее мощными установками для интенсификации переноса продуктов загрязнения в горизонтальной плоскости к вертикальной струе (рис. 24.16). Могут быть использованы и другие комбинации работы вентиляторных установок.

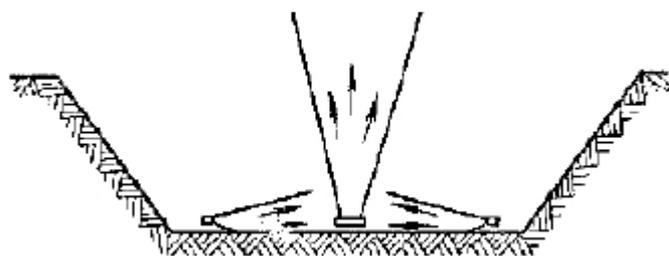


Рис. 24.16 – Комбинированная схема вентиляции карьера вертикальной и горизонтальными струями

Условиям работы в карьере в наибольшей мере отвечают струйные вентиляторы. Основной их особенностью в отличие от промышленных и шахтных вентиляторов есть то, что они достигают максимальных к.п.д. при отсутствии внешнего аэродинамического сопротивления, так как работают с открытым нагнетательным сечением. Мобильность вентиляторов и их автономность позволяют создавать ими оптимальные условия проветривания застойных зон в карьере. Наибольшую универсальность имеют вентиляторы, которые создают изотермические воздушные и воздушно-водные струи переменного направления с рабочей дальностью сравнимой с размерами карьера.

При использовании реактивных двигателей, обязательным условием является выход струи за пределы карьера, так как токсичные компоненты их выхлопа будут накапливаться в атмосфере карьера и быстро приведут к недопустимому ее загрязнению.

Требования обязательного выхода вентиляционной струи за пределы карьера в полной мере относятся к конвективным струям, создаваемым тепловыми источниками базирующихся на сгорании разных видов топлива. При достаточной мощности теплового источника конвективный поток является турбулентным и подобным неизотермической струе, которая поднимается вверх. В конвективный поднимающийся вверх поток, эжектируется окружающий воздух, его расход увеличивается и формируется характерный для свободных струй профиль скоростей и температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аэрология и компьютерное моделирование вентиляционных сетей : учеб. пособие для обучающихся образоват. учреждений высш. проф. образования / В. А. Трофимов, А. Л. Кавера ; ГОУВПО «ДОННТУ». – 2-е изд., перевод. – Донецк : ДОННТУ, 2020. – 83 с. : ил., табл.
2. Ушаков К.З. и др. Аэрология горных предприятий. – М.: Недра. – 1987. – 421 с.
3. Правила безопасности в угольных шахтах. – Донецк. – 2016. – 216 с.
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Киев: Основа. – 1994. – 311 С.
5. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1992. – 206 с.
6. Границы горной выработки / В.А. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, А.Л. Кавера, М.В. Харьковской – ДонНТУ: Известия Донецкого горного института №1 – 2009. – С. 87-89.
7. Трофимов В.А. Свойства шахтной вентиляционной сети / В.А. Трофимов, А.Л. Кавера, М.В. Харьковской – ДонНТУ: Известия Донецкого горного института №1 – 2009. – С. 90-96.
8. Определение режима проветривания горной выработки / В.А. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, А.Л. Кавера, М.В. Харьковской – Уголь Украины, №5 – 2009. – С. 26-28.
9. Взаимовлияние вентиляторов главного проветривания / Трофимов В.А., Булгаков Ю.Ф., Харьковской М.В., Кавера А.Л. // Уголь Украины, №4, – 2010. – С. 33-35.
10. Законы и свойства вентиляционных сетей. Монография. / Трофимов В.А., Кавера А.Л., Костенко Т.В. – Хмельницкий: ФЛП Цюпак А.А., 2016. – 42 с.
11. Вентиляция шахт и рудников: учебн. пособие / В.И. Голинько, Я.Я. Лебедев, О.А. Муха; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 266 с.
12. Зорин А.В. Аэрология карьеров: учебн. пособие / ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – 119 с.
13. Компьютерное моделирование аварийных вентиляционных режимов : учеб. пособие для обучающихся образоват. учреждений высш. проф. образования / Ю. Ф. Булгаков, В. А. Трофимов, А. Л. Кавера, Е. Б. Николаев ; ГОУВПО «ДОННТУ». – 2-е изд., перевод. – Донецк : ДОННТУ, 2020. – 73 с. : ил., табл.
14. Реверсирование вентиляционных струй на угольных шахтах. Общие требования. СОУ 10.1.00185790.015:2009.