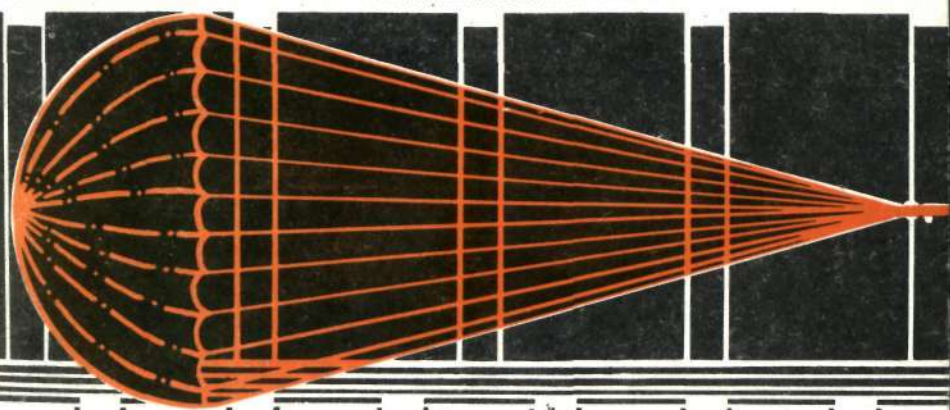


И. Е. БОЛБАТ
В. И. ЛЕБЕДЕВ
В. А. ТРОФИМОВ

АВАРИЙНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ



И. Е. БОЛБАТ
В. И. ЛЕБЕДЕВ
В. А. ТРОФИМОВ

**АВАРИЙНЫЕ
ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ
РЕЖИМЫ
В УГОЛЬНЫХ
ШАХТАХ**



МОСКВА "НЕДРА" 1992

ББК 33.18
Б 79
УДК 622.4:622.8

Рецензент д-р техн. наук *И.В. Сергеев*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности показывает, что с ростом глубины разработки, мощности и энерговооруженности шахт потенциальная опасность возникновения аварий остается довольно высокой.

Практикой ведения горноспасательных работ установлено, что успех спасения горнорабочих, застигнутых в шахте аварийей, эффективность действия горноспасателей по ее ликвидации и, наконец, размер материального ущерба во многом зависят от правильного выбора и своевременного применения аварийного вентиляционного режима.

Наибольшую опасность представляют аварии, при возникновении которых в шахтной сети генерируются мощные внутренние источники тяги, способные преодолеть напор вентилятора в выработках аварийного участка, опрокинуть воздушный поток и тем самым дезорганизовать проветривание шахты. Существующие методы оценки устойчивости вентиляционных струй при появлении аварийных источников тяги и способы стабилизации воздушных потоков несовершенны, поэтому выбранные вентиляционные режимы не всегда эффективны. Состоящие на боевом расчете ВГСЧ средства управления вентиляцией выработок аварийного участка не отвечают современным требованиям оперативности и безопасности.

Измерения традиционными методами утечек воздуха через вентиляционные сооружения применительно к изолированным пожарным участкам имеют большую погрешность. Методы расчета содержания метана в аварийных горных выработках, особенно при изменении режима проветривания, также несовершенны. Отсутствуют критерии оценки и выбора аварийных вентиляционных режимов, поэтому не определена область их эффективного применения. В технической литературе необходимые сведения по рассматриваемым вопросам носят общий характер и недостаточно обоснованы, иногда противоречивы или совсем отсутствуют. В настоящей книге авторами сделана попытка восполнить этот пробел.

В написании разд. 2.2 и 7.1 принимал участие А.Е. Горбатенко, разд. 4.1 - Г.И. Сталоверов; разд. 3.4 написан И.Н. Зинченко и М.В. Кравченко, разд. 10.5 и 10.6 - И.Н. Зинченко.

В 2502010700-254 237-92
043(01)-92

© И.Е. Болбат, В.И. Лебедев,
В.А. Трофимов, 1992

ISBN 5-247-01878-8

1. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

1.1. Общая характеристика основных видов аварий и аварийных вентиляционных режимов

Анализ аварийности угольных шахт показывает, что подземные пожары являются одним из наиболее распространенных видов аварий (более 50% общего числа). Обрушения горных выработок составляют 28-30%, внезапные выбросы угля и газа - до 6%, взрывы газа и угольной пыли около 3,5%. Остальные виды аварий (горные удары, затопление выработок водой, прорывы глинистой пульпы и плывунов, аварии на поверхности шахт и др.) составляют менее 7%. Примерно 90% подземных аварий возникает в выработках выемочных участков, где сосредоточено наибольшее количество горной техники и рабочих. К тому же аварии в этих местах характеризуются высоким коэффициентом "тяжести". Под этим термином понимаются материальные затраты на ликвидацию аварий и длительность их во времени. Так, коэффициент "тяжести" пожаров в уклонах (бремсбергах) и откаточных штреках составляет соответственно 0,33 и 0,32 по затратам времени на ликвидацию пожара, а по материальным затратам - 0,3 и 0,4. Для пожаров в стволах эти коэффициенты составляют соответственно 0,1 и 0,15.

Пожары в уклонах, бремсбергах и откаточных штреках характеризуются быстрым распространением пламени, и тушение их связано с гораздо большими трудностями, чем в других выработках. Согласно статистическим данным почти 70% таких пожаров были затяжными. Подземные пожары на свежих струях воздуха в выемочных полях чрезвычайно опасны еще и потому, что продукты горения довольно быстро попадают в очистные забои, и, поскольку выход навстречу свежей струе воздуха невозможен, горнорабочие вынуждены уходить по загазированным выработкам. Ввиду большой протяженности панельных выработок, сравнительно малой мощности пластов, загромождения очистных забоев угледобычными комплексами и других причин выход людей из аварийного участка крайне затруднен, а горноспасатели не всегда могут оказать им своевременную помощь. Учитывая, что техническим развитием предусматривается увеличение размеров панелей, столбов, лав, этажей, возрастает роль вентиляционных режимов, обеспечивающих как спасение людей, так и успешные действия горноспасателей по ликвидации аварий.

Повышенные требования к выбору аварийных режимов проветривания выемочных полей объясняются следующим.

1. В выработках выемочных полей сосредоточены машины и механизмы, обеспечивающие технологические процессы по выемке

и доставке угля, электрооборудование, силовые кабели, ввиду чего эти выработки обладают повышенной степенью пожаро- и взрывоопасности.

2. В выемочных полях расположено абсолютное большинство наклонных выработок (уклоны, бремсберги, очистные забои, гезенки), в которых могут формироваться различные активные источники тяги - гравитационный напор метана, тепловая депрессия пожара, напор, создаваемый самотечным транспортом угля, естественная тяга и др. Депрессия, развиваемая этими источниками тяги, может быть не только соразмерна с максимально возможной депрессией вентилятора, приходящейся на данную выработку, но и превосходить ее по величине. В этом случае происходит самопроизвольное опрокидывание струи, представляющее большую опасность как для рабочих, так и для горноспасателей.

3. Основное метановыделение из разрабатываемых пластов и их спутников наблюдается в выработках выемочных полей.

4. Внезапные выбросы угля и газа, суфляры, эндогенные пожары и более 80% экзогенных пожаров возникают, как правило, в пределах выемочных полей.

Необходимо также отметить некоторые особенности проветривания выемочных полей:

в выемочных полях сосредоточено более 80% диагоналей из имеющихся в шахтной сети, т.е. выработок, в которых при определенных условиях направление движения воздуха может измениться на противоположное;

всякие изменения, связанные с перераспределением воздуха, ограничиваются, как правило, пределами одного выемочного поля и только в отдельных случаях заметно сказываются на расходе воздуха, поступающего на другие участки;

для выемочных полей характерны сравнительно невысокие депрессии и расход воздуха (в среднем 20-30% депрессии и подачи вентилятора главного проветривания).

Следует иметь в виду также мобильность топологии сети выемочных полей: отработка или ввод в эксплуатацию очистных забоев, прохождение подготовительных выработок, появление в процессе горных работ новых связей между выработками или устранение их и др.

Переход на аварийный режим проветривания в этих условиях является основной, а в ряде случаев единственной мерой, обеспечивающей спасение людей, застигнутых в шахте аварией.

Основными нормативными документами при выборе аварийных вентиляционных режимов являются Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах и Устав ВГСЧ по ведению горноспасательных работ [1, 6].

При возникновении аварии оптимальным вентиляционным режимом считается такой, при котором обеспечивается:

выход людей в безопасные места по маршрутам с минимальной длиной загазированных выработок;

отвод газообразных продуктов кратчайшими путями на поверхность;

проветривание выработок, исключая образование взрывоопасных скоплений метана;

устойчивость проветривания выработок по направлению, особенно при пожарах в наклонных выработках;

снижение интенсивности развития пожара;

движение отделений ВГСЧ по выработкам со свежей струей воздуха;

работа горноспасателей со стороны свежей струи воздуха.

В плане ликвидации аварий предусматривается вентиляционный режим, отвечающий перечисленным требованиям, а если это невозможно - обеспечивающий, в первую очередь, безопасные условия для вывода людей из аварийного участка.

При выборе аварийного режима проветривания следует учитывать:

место возникновения аварии;

число застигнутых аварией людей и их местонахождение;

состояние вентиляционных сооружений и горных выработок;

газообильность выработок и возможность образования взрывоопасных скоплений метана;

надежность реверсивных устройств;

величину и направление естественной тяги, тепловую депрессию пожара и другие источники тяги;

число вентиляционных установок.

При возникновении аварий применяются следующие вентиляционные режимы:

сохранение нормального режима проветривания с увеличением или уменьшением расхода воздуха, поступающего к месту аварии;

общешахтное реверсирование вентиляционной струи;

местное реверсирование вентиляционной струи;

закорачивание вентиляционной струи;

нулевой режим проветривания (при остановке вентилятора).

Вентиляционные режимы, применяемые при подземных авариях в угольных шахтах, подразделяются по назначению на следующие две группы: режимы, обеспечивающие безопасный выход людей из аварийного участка или всей шахты на поверхность и направленные на предотвращение или уменьшение распространения продуктов горения в другие выработки шахты, и режимы, обеспечивающие выполнение первоочередных мер по тушению пожара. Режимы второй группы характеризуются большим разнообразием вентиляционных маневров, способствуют успешным действиям горноспасателей, не допускают распространения пожара на соседние участки выработок, содействуют эффективному применению средств пожаротушения и быстрейшему завершению работ по ликвидации аварии.

Режимы первой группы обычно предусматриваются планами

ликвидации аварии, а второй - оперативными планами, разрабатываемыми при ведении горноспасательных работ.

В работах Г.Г. Соболева указывается, что плану ликвидации аварий, разработанному на высоком организационно-техническом уровне и своевременно введенному в действие, принадлежит решающая роль в успешном проведении горноспасательных работ. Подчеркивается особое значение правильно выбранного наиболее эффективного вентиляционного режима.

1.2. Факторы, приводящие к нарушению режима проветривания выработок в аварийных условиях

Известно, что проветривание выработок шахт характеризуется определенными значениями депрессии и расхода воздуха в соответствии с режимом работы вентилятора главного проветривания. Но сами аварии оказывают существенное влияние на указанные параметры, изменяя их в сторону уменьшения или увеличения. Наибольшую опасность представляют аварии, при возникновении которых в шахтной сети генерируются мощные внутренние источники тяги, способные преодолеть напор, создаваемый вентилятором в аварийной выработке, и опрокинуть воздушный поток. Тогда, вследствие дезорганизации проветривания, вызванной самопроизвольным опрокидыванием струи, предусмотренный планом ликвидации аварий вентиляционный режим не выполняется, создавая угрожающую обстановку для жизни горнорабочих.

Самопроизвольное опрокидывание вентиляционной струи наблюдается при подземных пожарах и внезапных выбросах угля и газа, хотя именно при этих видах аварий необходима стабильность проветривания выработок, способствующая удалению продуктов горения или метана из шахты по намеченным планом ликвидации аварий выработкам. Источником тяги, способным опрокинуть вентиляционную струю при пожаре, является тепловая депрессия, а при внезапном выбросе угля и газа - гравитационный напор метана. Опрокидыванию струи способствует также выделяющийся в аварийную выработку дополнительный объем газов (продуктов горения и метана).

Рассмотрим некоторые случаи нарушения проветривания выработок, которые имели место при подземных пожарах.

Пример 1. На шахте им. Октябрьской революции ПО "Ростовуголь" пожар возник в средней части уклона № 4 (рис. 1.1), по которому сверху вниз поступала свежая струя воздуха (угол падения 16°). Вскоре выработки, расположенные ниже очага пожара (по ходу движения вентиляционной струи), оказались заполненными продуктами горения. Люди, находящиеся в выработках уклона № 4-бис, включившись в самоспасатели, вышли к воздухоподводящему стволу и выехали на поверхность. Из 437 чел., застигнутых в шахте аварией, большинство рабочих вышло из шахты по выработкам со свежей струей воздуха. Получив известие о пожаре, люди, которые работали в очистных забоях уклона № 6-бис, также направились по выработке со свежим воздухом (уклон № 6) для выезда на поверхность. Однако, когда 79 рабочих и со-

проводившие их 35 горноспасателей считали себя уже вне опасности, в уклоне № 4 под влиянием тепловой депрессии вентиляционная струя опрокинулась, продукты горения с высокой температурой (70-80 °С) распространились в восточный штрек № 6 и уклон № 6 навстречу выходящим людям. Пути выхода горнорабочих и горноспасателей на поверхность оказались опасными. После опрокидывания струи все выработки восточного крыла шахты были заполнены продуктами горения. Положение осложнилось тем, что залежи кислорода в респираторах горноспасателей был на исходе. Выход людей на поверхность был возможен только по восточному шурфу, не приспособленному для этой цели, но он также был задымлен. Учитывая создавшуюся обстановку, было принято решение произвести реверс вентилятора на восточном шурфе. К этому времени находящихся в районе воздухоподающего ствола людей вывели на поверхность. Это мероприятие обеспечило выход из шахт последних групп рабочих и горноспасателей, однако спасти всех людей не удалось.

Вследствие того, что из-за опрокидывания вентиляционной струи действия горноспасателей в начальной стадии пожара оказались парализованными, пожар принял огромные размеры и на длительный срок вывел шахту из строя.

В практике ликвидации аварий немало случаев, когда при пожаре в наклонных выработках с нисходящим проветриванием обеспечивались безопасные условия выхода шахтеров на поверхность, однако в результате опрокидывания струи пожар принимал затяжной характер, причиняя огромный материальный ущерб.

Пример 2. Так, на одной из шахт ПО "Кизелуголь" пожар возник в воздухоподающем уклоне ниже второго горизонта. Планом ликвидации аварий для этого случая было предусмотрено общешахтное реверсирование вентиляционной струи, своевременное выполнение которого обеспечило выход всех людей из

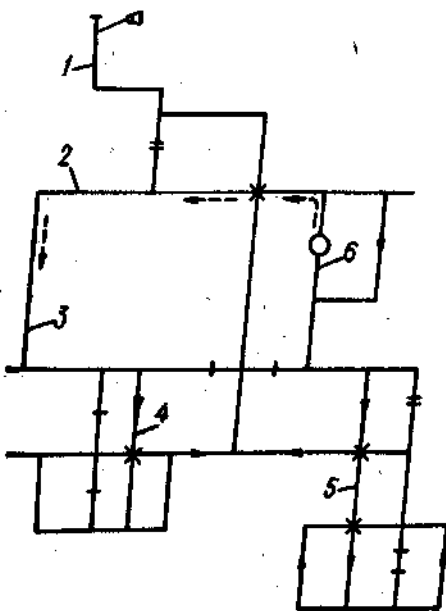


Рис. 1.1. Схема аварийного участка шахты им. Октябрьской революции: 1 - восточный шурф; 2 - восточный штрек № 6; 3 - уклон № 6; 4 - уклон № 6-бис; 5 - уклон № 4-бис; 6 - уклон № 4

шахты. Однако после реверсирования струи пожар начал быстро распространяться вверх по уклону, создавая угрозу выхода его на первый горизонт и далее к стволам. Поэтому после вывода людей на шахты вентиляторы перевели на нормальный режим работы. Во всех выработках шахты восстановилось прежнее (до реверса) направление вентиляционных струй, и только в аварийной выработке струя осталась опрокинутой. В результате этого продукты горения распространялись из горящей выработки на первый горизонт и дукты горения распространялись в свежие струи воздуха остальных четырех уклонов. За короткий промежуток времени все выработки шахты (кроме воздухоподающих стволов) оказались задымленными и заполненными вредными продуктами горения.

Дезорганизация проветривания шахты, вызванная противонаправленным действием тепловой депрессии, привела к тому, что пожар достиг катастрофических размеров. Активно воздействовать на очаг пожара не представлялось возможным, так как защитного времени респираторов не хватило даже на передвижение горноспасателей к аварийной выработке и обратно. Поэтому тушение пожара осуществлялось методом изоляции и подтоплением выработок. Тушение пожара и ликвидация последствий аварии продолжались почти полтора года. Общие убытки составили более 17,5 млн рублей.

Пример 3. На шахте "Миусинская" ПО "Доббассантрацит" пожар возник в бункере и начал распространяться по прилегающим выработкам (рис. 1.2). Вначале пожар тушили довольно успешно, однако через некоторое время произошло опрокидывание вентиляционной струи в людском ходе и продукты горения попали в свежую струю воздуха, поступающую к месту работы горноспасателей. Все выработки (штреки, северная и южная обходные выработки на гор. 340 м) в районе очага были задымлены, температура в северной обходной повысилась до 50 °С. Работы по тушению пожара вынуждены были прекратить.

С целью нормализации газовой обстановки в районе очага пожара в людском ходе была сооружена перемычка из бетона, что позволило сократить расход воздуха в людском ходе с 600 до 150 м³/мин. Нормальное направление движения воздуха восстановить не удалось.

Причина опрокидывания струи в людском ходе - тепловая депрессия, которая возникла вследствие нагревания воздуха в скиповом уклоне. Продукты горения рециркулировали в контурах хода и уклона. Часть газов двигалась по северной обходной выработке. В плане ликвидации аварий возможность самопроизвольного опрокидывания струи в людском ходе не предусматривалась. С поступлением вредных газов, образовавшихся при пожаре, в свежую струю начали бороться лишь после того, как произошло опрокидывание.

Пример 4. На шахте "Комсомолец" ПО "Артемуголь" в отработанном высочном участке произошло самозгорание угля. Из-за просачивания воздуха через изолированный участок в нем длительное время сохранялась взрывоопасная ситуация. Содержание метана колебалось в пределах 10-12%. Взрывом были разрушены перемычки. Вследствие обрушений, произошедших в изолированном участке, расход воздуха был небольшим, поэтому содержание метана снизилось лишь до 4-5%, т.е. на аварийном участке по-прежнему сохранялась взрывоопасная ситуация. После первого взрыва произошло еще четыре. Все это очень осложнило ведение горноспасательных работ.

Пример 5. На шахте "Новатор" ПО "Красноармейскуголь" пожар возник в сбойке, соединяющей уклон № 1 и южный ходок (рис. 1.3). В сбойке были установлены деревянные двери, обитые металлическими листами. При пожаре двери сгорели, в результате чего произошло закорачивание вентиляционной струи. Пожар вышел в южный ходок и начал быстро распространяться по ходу движения вентиляционной струи. Скорость движения воздуха в ходке составляла 5-6 м/с. Для снижения скорости распространения пожара уменьшили депрессию вентилятора главного проветривания с 4700 до 2100 Па. Однако

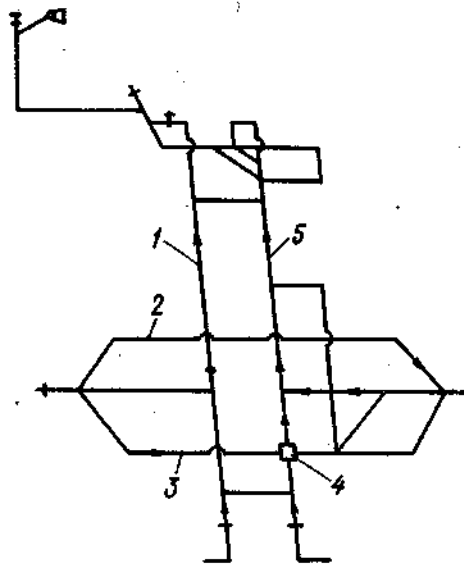


Рис. 1.2. Схема аварийного участка шахты "Миусинская":
1 - лодской ходок; 2-3 - соответственно южная и северная обходные выработки; 4 - бункер; 5 - скиповой уклон

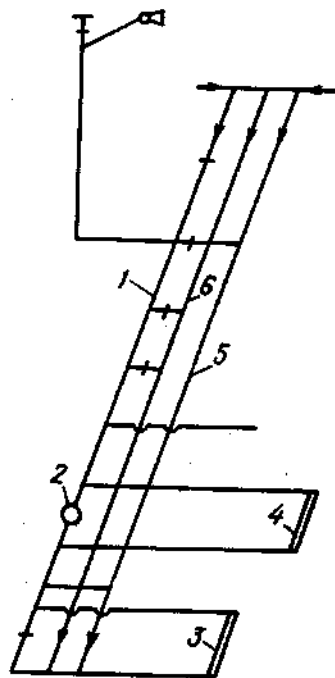


Рис. 1.3. Схема аварийного участка шахты "Новатор":
1 - южный ходок; 2 - очаг пожара; 3 и 4 - соответственно 8-я и 6-я северные лавы; 5 - северный ходок; 6 - уклон № 1

эта мера не привела к желаемым результатам, так как в ходе возникла мощная тепловая депрессия, величина которой достигала 900-1000 Па.

В начальной стадии пожар тушили горнорабочие подручными средствами. Затем прибыли горноспасатели. Последние обнаружили, что содержание метана в вентиляционном штреке 8-й северной лавы достигло взрывоопасного значения. Причины - самопроизвольное закорачивание вентиляционной струи и снижение депрессии вентилятора главного проветривания. В сложившейся обстановке нельзя было восстанавливать нормальный режим проветривания, так как установка в сбойке 1-2 перемычки вместо сгоревшей двери привела бы к быстрому перемещению взрывоопасной метановоздушной смеси к очагу пожара. Путем реверсирования вентиляционных струй в выработках уклонного поля можно было бы вывести взрывоопасную смесь по уклону № 1 и северному ходуку за пределы аварийного участка. Однако с помощью вентилятора главного проветривания невозможно было преодолеть действие тепловой депрессии пожара, так как последняя в реверсивном режиме противодействует вентилятору.

Слева (по схеме) от южного ходка находились отработанные горизонты, выработки которых были заполнены метаном. За счет тепловой депрессии метан просачивался в южный ходок, что усугубляло и без того тяжелое положение. В один из моментов процесс вышел из-под контроля и произошел взрыв метана. Погибли люди. Шахта оказалась выведенной из строя.

Во всех приведенных примерах основные причины осложнения аварий следующие: нарушение устойчивости проветривания, возникновение взрывоопасных ситуаций, неправильная оценка последствий принимаемых решений. Вот почему столь остро встает вопрос управления проветриванием выработок аварийных участков или шахты в целом, так как от правильного выбора и своевременного осуществления вентиляционного режима зависит безопасность людей и эффективность ликвидации самой аварии.

2. УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОЖАРАХ

2.1. Влияние пожара на проветривание наклонных выработок

В отличие от естественной тяги тепловая депрессия, возникающая при пожаре в наклонной или вертикальной выработке, носит локальный характер, так как газы, которые образуются при пожаре, перемещаясь по выработке, интенсивно охлаждаются.

Тепловая депрессия может возникнуть также при пожаре в горизонтальной выработке, если нагретый воздух попадает в наклонную или вертикальную выработку.

Допустим, пожар возник на участке уклона (рис. 2.1), по которому сверху вниз движется свежая струя. Рассмотрим возможные режимы проветривания уклонного поля при действии тепловой депрессии.

Предположим, что напорная характеристика уклонного поля выражается кривой 1 (рис. 2.2). Под напорной характеристикой уклонного поля подразумевается характеристика такого условного вентилятора, который работал на сеть выработок, оказывая на них такое же влияние, как и реальный вентилятор главного проветривания. Нормальный режим проветривания уклонного поля (до пожара) определяется пересечением указанной напорной характеристики с аэродинамической характеристикой уклонного поля 5, описываемой уравнением

$$h = R_y Q^2, \quad (2.1)$$

где h - депрессия уклонного поля, Па; R_y - общее сопротивление выработок уклонного поля, $H \cdot c^2/m^2$; Q - общий расход воздуха в выработках уклонного поля, m^3/c .

На рис. 2.2 нормальный режим проветривания изображен точкой А, координаты которой OM и AM соответствуют значениям расхода воздуха и депрессии.

С возникновением пожара начинает действовать тепловая депрессия, действие которой можно уподобить работе установленного в уклоне дополнительного вентилятора. Харак-

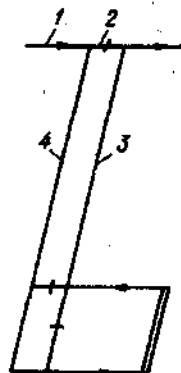


Рис. 2.1. Упрощенная схема уклонного поля:
1 - воздухоподводящий штрек; 2 - верхняя сбойка; 3 - ходок; 4 - уклон

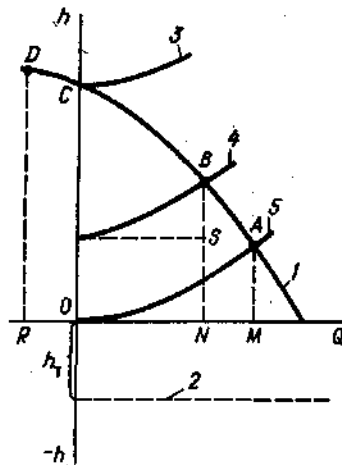


Рис. 2.2. График к определению влияния тепловой депрессии пожара на проветривание уклонного поля

характеристика этого вентилятора в координатах $h - Q$ для каждого момента времени представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс. Новый режим проветривания уклонного поля можно найти, воспользовавшись известным методом активизированной сети, сущность которого заключается в том, что из аэродинамической характеристики сети вычитается характеристика одного из источников тяги. Новая характеристика сети называется активизированной характеристикой.

Вычтя из характеристики сети (см. рис. 2.2) характеристику тепловой депрессии 2, получим кривую 4, являющуюся активизированной характеристикой сети уклонного поля. Пересечение кривой 4 с напорной характеристикой в точке B дает новый режим, для которого расход воздуха и депрессия соответственно измеряются отрезками ON и BN . Таким образом, действие тепловой депрессии приводит к снижению расхода воздуха, который поступает в уклонное поле с одновременным возрастанием депрессии вентилятора h_0 (на рисунке - BN), приходящейся на уклонное поле. Последняя расходуетя на преодоление тепловой депрессии NS и на перемещение воздуха по выработкам уклонного поля BS , т.е.

$$h_0 = h_t + R_v Q_0^2 \quad (2.2)$$

где h_t - тепловая депрессия, Па; Q_0 - расход воздуха в уклонном поле при пожаре, m^3/c .

По мере разгорания пожара тепловая депрессия увеличивается, что приводит к дальнейшему сокращению расхода воздуха в горящей выработке. Может наступить момент, ког-

да активизированная характеристика 3 пересечет напорную характеристику 1 в точке C, лежащей на оси ординат (см. рис. 2.2). В этом случае вся депрессия вентилятора расходуетя на преодоление тепловой депрессии, а воздух в уклонное поле не поступает. В этот момент времени нагретая газозадушная смесь рециркулирует в горящей выработке. Конвективные потоки воздуха по верхней части уклона движутся против хода струи. Через несколько десятков метров от очага пожара они обычно остывают и по нижней части уклона возвращаются к очагу пожара. Расходы воздуха в выработках, примыкающих к уклонному полю, определяются лишь воздухопроницаемостью перемычек в верхней сбойке.

При дальнейшем увеличении тепловой депрессии режим проветривания уклонного поля переместится в точку D. Этому режиму соответствует расход воздуха, равный отрезку OR . Направление движения воздуха в рассматриваемом уклоне изменится на противоположное. Продукты горения, выходящие из уклона, смешиваются со свежим воздухом, поступающим по штреку, затем, просачиваясь через неплотности в перемычке, попадают на исходящую струю воздуха. Оттуда одна часть продуктов горения направляется в общую исходящую струю, а другая по ходу возвращается в уклонное поле. Возникает рециркуляция продуктов горения в контуре, образованном выработками уклонного поля и верхней сбойкой. Это делает невозможным проведение в уклонном поле горноспасательных работ. В дальнейшем направлении движения воздуха в штреке, из которого воздух поступает в уклон, может измениться.

Точка C (см. рис. 2.2) является критической, так как она делит область возможных режимов проветриваний уклонного поля на расположенную справа зону нормальной направления вентиляционной струи и расположенную слева зону опрокинутой струи. Режим проветривания является неустойчивым, так как в любой момент времени может восстановиться нормальное направление струи. Это может произойти, например, из-за снижения температуры в очаге пожара при тушении его горноспасателями.

Опрокидывание воздушной струи под действием тепловой депрессии может произойти в том случае, если ее величина превысит критическое значение. Критической называется депрессия, создаваемая вентилятором главного проветривания в момент прекращения поступления в выработку воздуха из-за противодействия тепловой депрессии. Опрокидывание вентиляционной струи под действием тепловой депрессии не произойдет, если будет выполняться неравенство

$$h_t < h_{кр} \quad (2.3)$$

где h_t - тепловая депрессия пожара, Па; $h_{кр}$ - критическая депрессия выработки, Па.

Показатель, характеризующий степень устойчивости про-

ветривания наклонной выработки при пожаре, определяется из выражения

$$p_y = h_{кр} / h_r. \quad (2.4)$$

В зависимости от p_y все наклонные выработки делятся на устойчивые $p_y > 1$ и неустойчивые $p_y < 1$. Среди последних можно выделить весьма неустойчивые выработки, у которых $p_y < 0,3$.

Рассмотрим случай пожара в ходке, по которому воздух движется снизу вверх. Нормальный режим проветривания уклонного поля определяется точкой *A* (рис. 2.3). С возникновением пожара начинает действовать тепловая депрессия *3*. Тепловая депрессия действует в том же направлении, что и вентилятор главного проветривания. Вычтя из аэродинамической характеристики сети *2* характеристику тепловой депрессии пожара *3*, получим кривую *4*, являющуюся активизированной характеристикой сети уклонного поля. Пересечение последней с напорной характеристикой *1* в точке *E* определяет новый режим проветривания уклонного поля, для которого расход воздуха и депрессия измеряются соответственно отрезками *OT* и *ET*. Действие тепловой депрессии в выработке с восходящим проветриванием приводит к увеличению расхода воздуха и снижению депрессии, разбиваемой вентилятором главного проветривания в выработках уклонного поля.

Для рассматриваемого случая

$$h_r + h_e = R_y Q_e^2, \quad (2.5)$$

где h_e - депрессия вентилятора главного проветривания, приходящаяся на уклонное поле при наличии тепловой депрессии h_r , Па; Q_e - расход воздуха в ходке при наличии тепловой депрессии, м³/с.

По мере роста тепловой депрессии режим проветривания уклонного поля перемещается по напорной характеристике вниз.

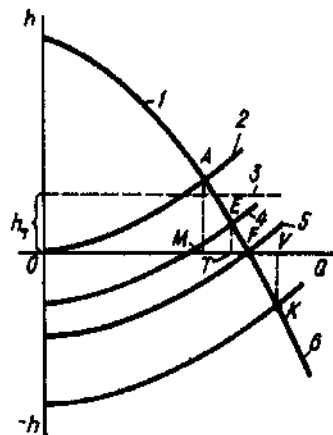


Рис. 2.3. График изменения режима проветривания уклонного поля при пожаре в выработке с восходящей вентиляционной струей

Может наступить момент, когда активизированная характеристика сети *5* пересечет напорную характеристику *1* в точке *F*, лежащей на оси абсцисс. Депрессия, создаваемая в этом случае вентилятором главного проветривания, в уклонном поле равна нулю, а движение воздуха в уклонном поле осуществляется полностью за счет тепловой депрессии, т.е.

$$h_r = R_y Q_e^2, \quad (2.6)$$

где Q_e - расход воздуха, определяемый точкой пересечения напорной характеристики с осью абсцисс, т.е. равный отрезку *OF*, м³/с.

В этом последнем случае вентиляционное давление выравнивается и, если между уклоном и ходком вверх положить трубку, присоединив ее к микроанометру, то прибор зафиксирует нулевую депрессию.

Дальнейшее увеличение тепловой депрессии приведет к перемещению точки, характеризующей режим проветривания уклонного поля, по напорной характеристике вниз. Новый режим будет соответствовать точке *K* с расходом воздуха *OV* и депрессией *KV*. Из рис. 2.3 видно, что депрессия вентилятора, приходящаяся на рассматриваемое уклонное поле, имеет отрицательный знак, т.е. вентилятор играет роль сопротивления. Движение воздуха осуществляется только за счет тепловой депрессии пожара. Одна часть ее расходуется на преодоление депрессии вентилятора, другая - на перемещение воздуха по выработкам уклонного поля. Характерная черта этого режима проветривания - повышенное давление воздуха в верхней части.

При этом продукты горения через перемышку движутся от ходка к уклону. Вливаясь затем в уклон, они заполняют выработку уклонного поля, осложняя проведение горноспасательных работ.

Точка *F* в известном смысле является критической, поскольку она определяет максимальный расход воздуха Q_0 , проходящий по выработкам уклонного поля без опрокидывания утечек воздуха и без возникновения рециркуляции газозадушной смеси в сети горных выработок. Расход воздуха Q_0 называют критическим.

На рис. 2.3 кривая *6* - активизированная характеристика сети после опрокидывания струи воздуха в уклоне.

В общем случае условие стабильного проветривания системы горных выработок при однонаправленном действии тепловой депрессии и вентилятора главного проветривания может быть выражено неравенством

$$h_r < R Q_e^2. \quad (2.7)$$

Для решения практических задач используют неравенства (2.3) и (2.7).

2.2. Методы определения тепловой депрессии пожара

В зависимости от конкретных условий тепловая депрессия может быть определена замерным или расчетным путем [3]. Первый способ дает наиболее достоверные результаты.

Тепловую депрессию измеряют следующими способами. Наклонная или вертикальная выработка, в которой возник пожар, может проветриваться нисходящим или восходящим потоком воздуха. Если действие тепловой депрессии противоположно направлению депрессии, создаваемой вентилятором главного проветривания, то возрастают затраты энергии на перемещение воздуха, что приводит к увеличению перепада давлений между концами аварийной выработки. В том случае, когда тепловая депрессия действует в том же направлении, что и депрессия вентилятора главного проветривания, затраты энергии на перемещение воздуха уменьшаются, поэтому разность давлений между концами выработки также снижается. Для определения тепловой депрессии, возникающей при пожаре в наклонной выработке с нисходящим движением воздуха, необходимо выполнить следующие замеры:

разности давлений между концами аварийной выработки (определяют с помощью микроманометра или приборов барометрического типа; для прокладки резиновой трубки используют параллельные выработки);

расхода воздуха в аварийной выработке, который измеряют выше очага пожара.

Величину тепловой депрессии подсчитывают по формуле

$$h_T = h_{a.з} - h_{a.р}, \quad (2.8)$$

где $h_{a.з}$ и $h_{a.р}$ - депрессия аварийной выработки, полученная соответственно в результате замеров и расчета, Па;

$$h_{a.р} = RQ^2, \quad (2.9)$$

где Q - расход воздуха в аварийной выработке, m^3/c ; R - аэродинамическое сопротивление аварийной выработки, принимается по результатам депрессионной съемки или определяется по графикам (рис. 2.4), $H \cdot c^2/m^6$.

Если скорость воздуха в аварийной выработке меньше $0,5 m/c$, то тепловая депрессия h_T принимается равной замеренной депрессии аварийной выработки $h_{a.з}$.

Например, для того чтобы определить тепловую депрессию, возникающую при пожаре в уклоне № 1 (рис. 2.5), необходимо измерить разность вентиляционных давлений между точками в верхней и нижней частях уклона (при этом предполагается, что в сбойках 5-6 и 8-9 установлены переключки). При применении микроманометра резиновую трубку прокладывают по выработкам 3-2-5-8-11, по которым движется свежий воздух. Скорость воздуха измеряют в устье уклона № 1.

Рис. 2.4. Графики для определения удельного сопротивления выработок:
1 - с крепью из бетона, кирпича, бетона; 2 - без крепи; 3 и 4 - закрепленных металлическими арками при расстоянии между рамами соответственно 1 и 0,5 м; 5 - закрепленных неполными рамами из круглого леса (с продольным калибром $\Delta = 2$) или сборной железобетонной крепью с металлическими верхняками ($\Delta = 4$); 6 - закрепленных неполными рамами из круглого леса ($\Delta = 4$); 7 - закрепленных неполными рамами из сборной железобетонной крепи ($\Delta = 4$) или металлическими арками через 1 м и оборудованных конвейером; 8 - закрепленных металлическими арками через 0,5 м и оборудованных конвейером

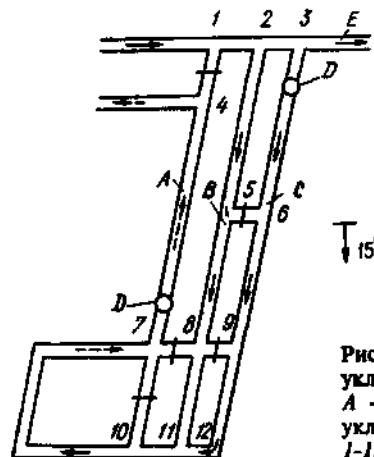
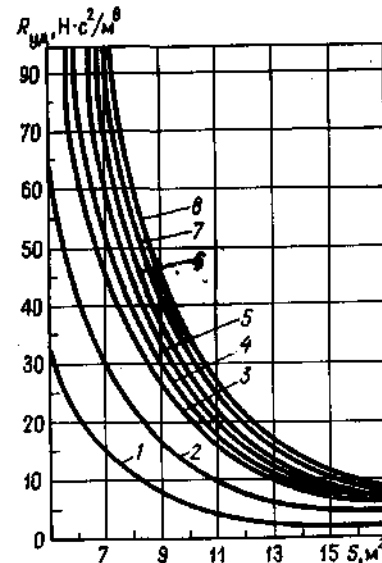


Рис. 2.5. Схема проветривания уклона поля:
А - ходок; В - уклон № 2; С - уклон № 1; D - очаг пожара; 1-12 - номера узлов схемы

При пожаре в выработке с восходящим движением воздуха тепловую депрессию определяют в следующем порядке:

замеряют разность давления между концами аварийной выработки так же, как и в случае нисходящего движения воздуха; замеряют расход воздуха перед очагом пожара; вычисляют тепловую депрессию по формуле

$$h_T = h_{a.р} - h_{a.з}. \quad (2.10)$$

Депрессия аварийной выработки $h_{a.з}$, полученная в результате замера, может быть положительной, равной нулю или отрицательной. В последнем случае в формуле (2.10) следует ставить знак "плюс".

Если ниже очага пожара устанавливается дополнительное

сопротивление, то депрессию аварийной выработки $h_{a.p}$ рассчитывают по формуле

$$h_{a.p} = h_c + RQ^2, \quad (2.11)$$

где h_c - определяемая замером депрессия дополнительного сопротивления, Па.

Если скорость воздуха перед очагом пожара меньше 0,5 м/с, то

$$h_r = h_c. \quad (2.12)$$

Примером выработки с восходящим движением воздуха может служить вентиляционный ходок 4-7 (см. рис. 2.5). При пожаре в нем возникает тепловая депрессия, которая действует в том же направлении, что и депрессия вентилятора главного проветривания. Для ее определения необходимо замерить депрессию участка 4-7. При измерении депрессии микроманометром резиновую трубку прокладывают по выработке со свежим воздухом (4-1-2-5-3-7). Затем перед очагом пожара (участок 7-D) навешивают брезентовую или парашютную перемычку и измеряют скорость движения воздуха к выработке. Величину тепловой депрессии определяют по формулам (2.11) и (2.12).

В зависимости от исходной информации величину тепловой депрессии можно определить по расчетной максимальной температуре в очаге пожара и по фактической температуре газов, образующихся при пожаре, которую измеряют в доступной точке аварийной выработки.

В первом случае для расчета тепловой депрессии используются следующие исходные данные:

Q - расход воздуха в аварийной выработке до возникновения пожара, м³/с;

S - средняя площадь поперечного сечения аварийной выработки, м²;

β - средний угол наклона аварийной выработки, градус;

x - расстояние от места возникновения пожара до устья выработки по ходу движения струи воздуха, м;

t - время с момента возникновения пожара, мин.

Величину тепловой депрессии рассчитывают в следующем порядке.

Сначала вычисляют длину зоны горения l по формуле

$$l = t(0,28 - 0,07Q/S). \quad (2.13)$$

Если время с момента возникновения пожара более 2,5 ч, то принимаем $t = 150$ мин.

Затем определяют параметр a

$$a = \sqrt{S} / l \quad (2.14)$$

и относительное расстояние

$$X = xl. \quad (2.15)$$

Длину зоны горения, м, по вертикали рассчитывают по следующей формуле:

$$z = l \sin \beta. \quad (2.16)$$

При углах наклона выработки $\beta \leq 30^\circ$ можно вместо формулы (2.16) использовать формулу

$$z = 0,017\beta l. \quad (2.17)$$

Величину тепловой депрессии находят по номограмме, представленной на рис. 2.6, согласно данным Q , S , a , x и z в направлении ABCDEF, или рассчитывают по формуле

$$h_r = 12z(0,766 + \ln T_m/T_x), \quad (2.18)$$

где h_r - тепловая депрессия аварийной выработки, Па;

$$A = \frac{100a}{1,21 + 1,51S/Q}; \quad (2.19)$$

$$T_m = 1273 + 975; \quad (2.20)$$

T_m - максимальная температура вентиляционной струи в зоне горения, К;

$$T_x = 298 + (T_m - 298) e^{(x-1)/A}, \quad (2.21)$$

T_x - температура вентиляционной струи в конце выработки.

Пример 1. Определить величину тепловой депрессии при пожаре в наклонной выработке, используя следующие исходные данные: $Q = 35$ м³/с; $S = 10$ м²; $\beta = 30^\circ$; $x = 240$ м; $t = 40$ мин.

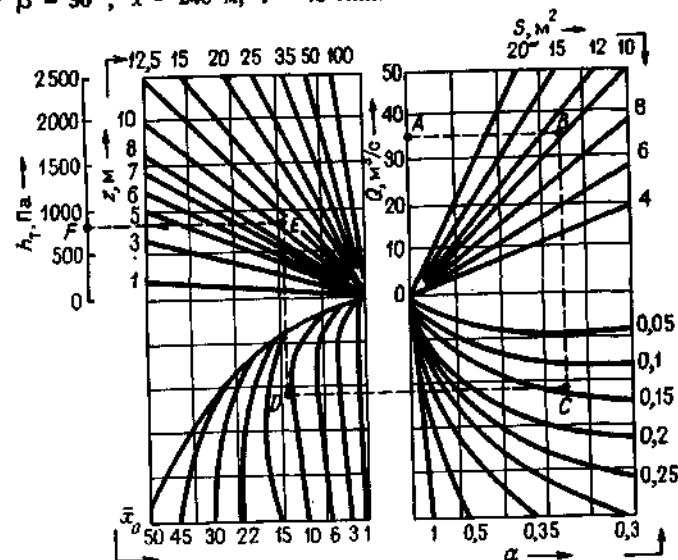


Рис. 2.6. Номограмма для определения тепловой депрессии h_r

Решение. Вычисляем длину зоны горения по формуле (2.13)

$$l = 40(0,28 + 0,07 \cdot 35/10) = 21 \text{ м.}$$

Определяем параметр a по формуле (2.14)

$$a = \sqrt{10/21} = 0,15.$$

Определяем относительное расстояние по формуле (2.15)

$$x = 240/21 = 11,4.$$

Находим длину зоны горения по вертикали по формуле

$$z = 0,017 \cdot 30 \cdot 21 = 10,7 \text{ м.}$$

Тепловую депрессию определяем по номограмме (рис. 2.6), с помощью ключа ABCDEF, $h_T = 830 \text{ Па}$.

Для сравнения h_T рассчитываем по формулам (2.18) - (2.21):

$$A = \frac{100 \cdot 0,15}{1,21 + 1,51 \cdot 10/35} = 9,14.$$

$$T_m = 1273 - 975 e^{-10/9,14} = 946,5 \text{ К,}$$

$$T_k = 298 + (946,5 - 298) e^{-11,4/9,14} = 505,8 \text{ К.}$$

В итоге

$$h_T = 12 \cdot 10,7 [0,766 + 9,14 \ln (946,5/505,8)] = 833,8 \text{ Па.}$$

Во втором случае, когда можно получить данные о фактической температуре газов, образующихся при пожаре, в фактической точке аварийной выработки, тепловая депрессия определяется в следующей последовательности.

1. Измеряют фактическую температуру воздуха $T_{изм}$ в доступной по температурным условиям точке наклонной выработки.

2. Определяют фактическое приращение температуры воздуха в выбранной точке

$$\Delta t_f = t_{изм} - t_n, \quad (2.22)$$

где t_n - температура воздуха до возникновения аварии, °С.

3. Измеряют скорость движения воздуха в аварийной выработке перед очагом пожара.

4. По номограммам, представленным на рис. 2.7, находят приращение температуры воздуха в доступной точке Δt_f . Исходными данными являются расстояние от очага пожара L , средняя площадь сечения выработки за очагом пожара S и средняя скорость вентиляционной струи v . На шкале расстояний находят точку, соответствующую значению L , и через нее проводят горизонтальную линию до пересечения с прямой, соответствующей заданной площади сечения S . Далее восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей скорости v , откуда проводят горизонталь до пересечения со шкалой расчетного приращения температур Δt_f .

5. Определяют отношение фактического приращения температуры к расчетному

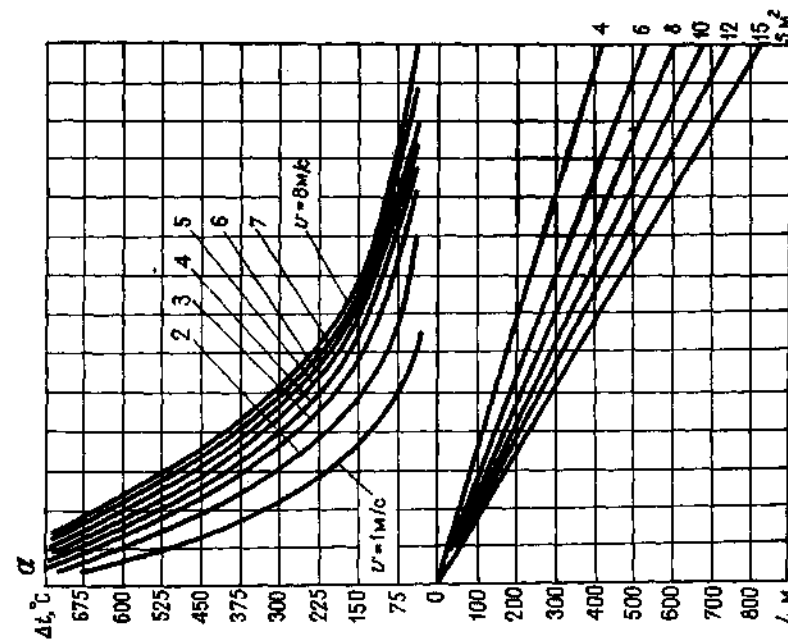
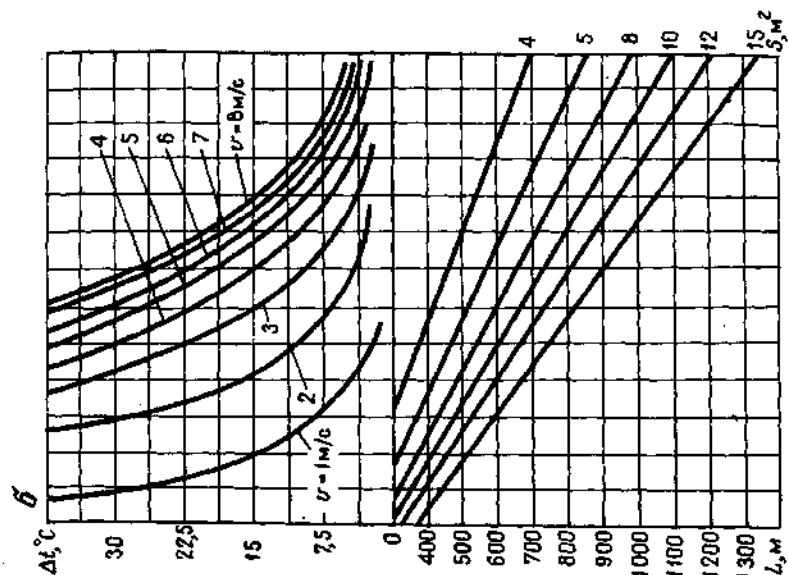


Рис. 2.7. Номограмма для определения приращения температуры Δt газовоздушной струи в зависимости от расстояния до очага пожара L и площади поперечного сечения выработки S : а и б - при L соответственно 0-800 и 400-1400 м

$$k = \Delta t_{\phi} / \Delta t_p. \quad (2.23)$$

6. Разбивают наклонную выработку на отрезки длиной 100 м.

7. По номограмме (рис. 2.7, а) находят расчетные приращения температуры воздушного потока через каждые 100 м Δt_n .

8. Условно температуру в очаге пожара принимают 900°С. Фактическую температуру воздуха в очаге пожара и через каждые 100 м определяют по формуле

$$t_{Li} = k \Delta t_{Li} + t_n. \quad (2.24)$$

9. Тепловую депрессию, возникающую на каждом участке выработки, определяют по формуле

$$h_{Li} = 12,3 z \frac{t_{cp i} - t_n}{273 + t_{cp i}}, \quad (2.25)$$

где z - вертикальная высота участка, м,

$$z = 100 \sin \alpha, \quad (2.26)$$

здесь α - средний угол наклона выработки, градус; $t_{cp i}$ - среднее значение температуры на каждом участке выработки, °С.

10. Общую тепловую депрессию наклонной выработки определяем по формуле

$$h_T = \sum h_{T_i}. \quad (2.27)$$

Пример 2. Необходимо определить тепловую депрессию в уклоне №1 (см. рис. 2.5), если температура в точке 9, отстоящей от очага пожара на 300 м, равна 45°С. Исходные данные: $L = 500$ м, $\alpha = 30^\circ$, $S = 10$ м², $v = 4$ м/с, температура воздуха в нормальных условиях - 25°С.

Решение. По формуле (2.22) определяем фактическое приращение температуры воздуха в точке 9:

$$\Delta t_{\phi} = 45 - 25 = 20^\circ \text{С}.$$

Расчетное приращение температуры воздуха Δt_p в точке 9 определяем по номограмме (см. рис. 2.7). Для условий нашей задачи $\Delta t_p = 160$ С.

Коэффициент отношения фактического приращения температуры к расчетному рассчитываем по формуле (2.23)

$$k = 20/160 = 0,125.$$

Температуру воздуха в очаге пожара принимаем равной 900°С. По номограмме на рис. 2.7,а находим расчетные приращения температуры воздуха на расстоянии 100, 200, 400 и 500 м от очага пожара, которые равны соответственно 500, 300, 90 и 50°С.

По формуле (2.24) определяем фактическую температуру воздуха в очаге пожара

$$t_0 = 0,125 \cdot 900 + 25 = 137^\circ \text{С}.$$

Температура на расстоянии 100 м от очага пожара

$$t_{100} = 0,125 \cdot 500 + 25 = 87^\circ \text{С}.$$

Аналогично находим

$$t_{200} = 62^\circ \text{С}, \quad t_{400} = 36^\circ \text{С}, \quad t_{500} = 31^\circ \text{С}.$$

Средняя температура воздуха на первом 100-метровом участке, расположенном за очагом пожара,

$$t_{cp 1} = (137 + 87)/2 = 112^\circ \text{С}.$$

Аналогично находим среднюю температуру воздуха на каждом 100-метровом участке:

$$t_{cp 2} = 75^\circ \text{С}; \quad t_{cp 3} = 54^\circ \text{С}; \quad t_{cp 4} = 41^\circ \text{С}; \quad t_{cp 5} = 34^\circ \text{С}.$$

По формуле (2.26) находим вертикальную высоту каждого участка выработки:

$$z = 100 \sin 30^\circ = 50 \text{ м}.$$

По формуле (2.25) определяем тепловую депрессию, возникающую на каждом участке выработки:

$$h_{T1} = 12,3 \cdot 50 \frac{112 - 25}{273 + 112} = 139 \text{ Па};$$

$$h_{T2} = 12,3 \cdot 50 \frac{75 - 25}{273 + 75} = 88 \text{ Па};$$

$$h_{T3} = 12,3 \cdot 50 \frac{54 - 25}{273 + 54} = 55 \text{ Па};$$

$$h_{T4} = 12,3 \cdot 50 \frac{41 - 25}{273 + 41} = 31 \text{ Па};$$

$$h_{T5} = 12,3 \cdot 50 \frac{34 - 25}{273 + 34} = 18 \text{ Па}.$$

Общую тепловую депрессию наклонной выработки определяем по формуле (2.27):

$$h_T = 139 + 88 + 55 + 31 + 18 = 331 \text{ Па}.$$

2.3. Расчет критической депрессии для наклонных выработок с нисходящим движением воздуха

Критическую депрессию наклонной или вертикальной выработки можно определить различными способами.

Экспериментальный способ отличается простотой, высокой точностью и заключается в следующем. При нормальном режиме проветривания наклонной выработки измеряют ее депрессию и расход воздуха Q_1 . Затем сопротивление наклонной выработки увеличивают, например, закрывая пожарную дверь. При этом добиваются максимально возможного сокращения расхода воздуха. Для этой цели можно применить брезентовую или полиэтиленовую перемычку. В таком положении измеряют депрессию двери $h_{дв}$ и расход воздуха Q_2 и определяют депрессию наклонной выработки по формуле

$$h_2 = h_{дв} + h_1(Q_2/Q_1)^2. \quad (2.28)$$

Критическую депрессию наклонной выработки вычисляют по формуле

$$h_{кр} = \frac{h_2 Q_1^2 - h_1 Q_2^2}{Q_1^2 - Q_2^2} \quad (2.29)$$

При определении критической депрессии экспериментальным путем рекомендуется использовать быстровозводимые перемычки парашютного типа.

Пример 1. Необходимо определить опытным путем критическую депрессию участка уклона 3-6 (см. рис. 2.5).

Сначала с помощью микроманометра и резиновой трубки измеряют депрессию выработки 3-6 и расход воздуха в ней. Предположим, что $h_1 = 195$ Па, $Q_1 = 18$ м³/с. Закрывают в уклоне пожарную дверь, уплотняют ее и измеряют депрессию двери и расход воздуха. Предположим, что

$$Q_2 = 4 \text{ м}^3/\text{с}, \quad h_{дв} = 547 \text{ Па}.$$

По формуле (2.28) определяют депрессию уклона 3-6 с учетом закрытой двери:

$$h_2 = 547 + 195(4/18)^2 = 556 \text{ Па}.$$

По формуле (2.29) определяют критическую депрессию:

$$h_{кр} = \frac{556 \cdot 18^2 - 195 \cdot 4^2}{18^2 - 4^2} = 575 \text{ Па}.$$

В некоторых случаях расчет критической депрессии может быть выполнен аналитически. В качестве исходной информации используются шахтные данные о фактических расходах воздуха в горных выработках и данные о сопротивлениях выработок, которые были рассчитаны или взяты из материалов депрессионной съемки.

Если рассматриваемая выработка имеет параллельную выработку с тем же направлением движения воздуха, то ее критическую депрессию находят следующими способами.

При наличии между наклонными выработками сбоек, сопротивление которых невелико, для каждого участка указанных выработок критическая депрессия, Па, определяется по следующей формуле:

$$h_{кр} = 0,9r_n(Q + Q_n)^2, \quad (2.30)$$

где r_n - аэродинамическое сопротивление участка наклонной выработки, параллельного горящему участку, Н·с²/м⁶; Q и Q_n - расход воздуха в нормальном режиме проветривания соответственно в рассматриваемой наклонной выработке и в параллельной, м³/с.

Примером может служить уклон № 1 (см. рис. 2.5). При отсутствии дверей в сбоях 5-6 и 8-9 каждую часть уклона следует рассматривать как самостоятельную выработку, так как расход воздуха в верхней части его не зависит от расхода воздуха в нижней.

Если в сбоях, соединяющих наклонные выработки, установлены перемычки, сопротивление которых значительно (в 300 раз и более) превышает сопротивление участков наклонных

выработок, то влиянием указанных сбоек можно пренебречь. За пример, если в сбоях 5-6 и 8-9 установлены перемычки, то по формуле (2.30) определяется критическая депрессия всего уклона № 1 или № 2.

Если в сбоях между наклонными выработками установлены перемычки, обладающие сравнительно небольшим сопротивлением, то критическая депрессия каждого участка наклонной выработки определяется по следующей формуле:

$$h_{кр} = 0,85(Q + Q_n)^2 \left[r_n + R_1 \left(1 + \sqrt{\frac{R_1 + r_1}{r_n}} \right)^2 + R_2 \left(1 + \sqrt{\frac{R_2 + r_2}{r_n}} \right)^2 \right], \quad (2.31)$$

где R_1 и R_2 - сопротивления сбоек, расположенных соответственно выше и ниже участка рассматриваемой выработки, Н·с²/м⁶; r_1 и r_2 - сопротивления участков наклонной выработки, примыкающих к аварийному участку соответственно сверху и снизу, Н·с²/м⁶; r_n и r_n'' - сопротивления участков наклонной выработки, которая параллельна аварийной, расположенных соответственно выше и ниже ветви с сопротивлением r_n , Н·с²/м⁶.

Пример 2. Требуется определить критическую депрессию верхнего участка уклона № 1 (см. рис. 2.5) после установки в сбоях парашютных перемычек. Ниже приведены сведения о сопротивлениях отдельных участков уклона.

Ветвь соединения . . .	2-5	5-8	8-11	3-6	6-9	9-12	5-6	8-9
Аэродинамическое сопротивление, Н·с ² /м ⁶	0,15	0,15	0,2	0,05	0,2	0,1	5	3

Суммарный расход воздуха в уклонах составляет 50 м³/с.

Поскольку сопротивления перемычек соизмеримы с сопротивлениями участков уклона, расчет критической депрессии выполняют по формуле (2.31)

$$h_{кр} = 0,85(Q_{5-8} + Q_{6-9})^2 \left[r_{5-8} + R_{5-6} \left(1 + \sqrt{\frac{R_{5-6} + r_{3-6}}{r_{2-5}}} \right)^2 + R_{8-9} \left(1 + \sqrt{\frac{R_{8-9} + r_{9-12}}{r_{9-11}}} \right)^2 \right] =$$

$$= 0,85 \cdot 50^2 \left[0,15 + 5 / \left(1 + \sqrt{\frac{5 + 0,05}{0,15}} \right)^2 + 3 / \left(1 + \sqrt{\frac{3 + 0,11}{0,2}} \right)^2 \right] = 800 \text{ Па}.$$

Если рядом с анализируемой выработкой имеется несколько параллельных выработок, то их суммарное сопротивление определяется по формуле

$$r_n = r_1 / (\sqrt{r_1/r_2} + 1)^2, \quad (2.32)$$

где r_1 , r_2 - аэродинамическое сопротивление выработок, расположенных параллельно рассматриваемой.

В уклонных полях с одной воздухоподающей выработкой критическая депрессия последней может быть ориентировочно принята равной депрессии всего уклонного поля.

При расчете на ЭВМ устойчивость проветривания можно определить без учета критической депрессии. После расчета естественного воздухораспределения в аварийную ветвь вводят тепловую депрессию и расчет вентиляционной сети повторяют. Опрокидывание или прекращение движения вентиляционной струи свидетельствует о ее неустойчивом проветривании при пожаре.

2.4. Мероприятия по повышению устойчивости проветривания наклонных выработок с нисходящим движением воздуха

Если в результате расчета установлено, что под действием тепловой депрессии может произойти опрокидывание вентиляционной струи, то следует предусмотреть мероприятия по повышению устойчивости проветривания.

Повысить устойчивость проветривания наклонной выработки при пожаре можно двумя способами: уменьшением тепловой или увеличением критической депрессии. Однако повлиять на изменение тепловой депрессии можно в весьма ограниченной степени. Поэтому практическое значение имеет второй способ - повышение критической депрессии.

Разработку рекомендаций по повышению устойчивости проветривания следует начинать с анализа схемы проветривания аварийного участка. Выделяют контур, в котором в случае опрокидывания вентиляционной струи будут рециркулировать продукты горения. На рис. 2.8 показан контур рециркуляции для случая пожара в уклоне (см. рис. 2.1). Этот контур состоит из двух частей, соединенных параллельно. Пожарная (левая часть на схеме 2.8) - включает в себя несколько ветвей, соединенных последовательно и параллельно. После опрокидывания воздушного потока под действием тепловой депрессии направление движения воздуха в пожарной части контура изменяется на противоположное. В этом заключается ее характерная особенность. Внешняя часть контура образована сбойкой, в которой направление движения воздуха после опрокидывания вентиляционной струи не изменяется. Следует отметить, что сбойка является лишь частью внешней сети. По сути внешней частью контура является вся шахтная сеть за исключением пожарной части.

Изменение аэродинамического сопротивления пожарной части контура не влияет на величину критической депрессии, что объясняется следующим. По существу тепловая депрессия пожара является источником энергии, но до момента опрокидывания вентиляционной струи действие ее аналогично повышению сопротивления горячей выработки. В момент опрокидывания поступление воздуха в горящую выработку из внешней сети прекращается, что эквивалентно увеличению сопротивления выработки до бесконечности. В этот момент сопротивление ветвей, входящих в пожарную часть контура, не играет никакой роли.

Повысить критическую депрессию горячей выработки можно лишь за счет внешней сети. К росту критической депрессии, например, уклона 2-5 все меры, осуществляемые во внешней сети и приводящие к росту депрессии ветви 2-3.

В случае пожара и опрокидывания струи в уклоне 3-6 (см. рис. 2.5) продукты горения будут рециркулировать в контуре 3-2-5-6-3. Пожарной частью в этом контуре является лишь ветвь 3-6, все остальные ветви попадают во внешнюю часть.

Практически критическую депрессию наклонной выработки можно повысить следующими способами:

- увеличением сопротивления выработок со свежей струей воздуха, расположенных параллельно анализируемой;
 - установкой перемычек в сбойках, соединяющих параллельные наклонные выработки с одинаковым направлением струй;
 - увеличением подачи вентилятора главного проветривания;
 - закорачиванием вентиляционных струй ниже очага пожара.
- Наиболее эффективным является первый способ. Сущность его

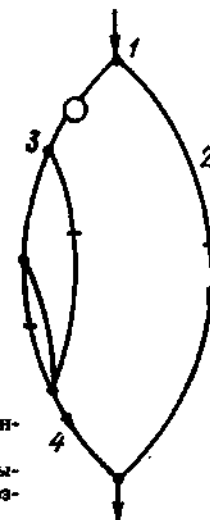


Рис. 2.8. Схема вентиляционных соединений уклонного поля:
1 - воздухоподающий штрек; 2 - сбойка между выработками с поступающей и нисходящей струями воздуха; 3 - уклон; 4 - ходок

заключается в искусственном увеличении сопротивления параллельной выработки, воздух в которой движется в том же направлении, что и в анализируемой. Увеличение сопротивления выработки достигается закрыванием пожарных дверей или специально установленных для этой цели вентиляционных дверей, которые при нормальном проветривании должны быть открыты. Следует учитывать, что наибольшее влияние на устойчивость проветривания аварийной выработки оказывает увеличение сопротивления ближайших параллельных выработок. С помощью описанного способа удается повысить критическую депрессию наклонной выработки в десятки раз.

В тех случаях, когда воздух движется по нескольким параллельным выработкам, между которыми имеются сбойки, установка перемычек в этих сбойках повышает критическую депрессию наклонных выработок в 2-3 раза. Если указанные сбойки используются для движения транспорта или людей, то целесообразно здесь установить вентиляционные двери. Примером могут служить уклоны № 1 и № 2 (см. рис. 2.5), между которыми имеются изолированные сбойки 5-6 и 8-9. Установка в них перемычек повышает критическую депрессию.

Если вентилятор главного проветривания имеет резерв по производительности, то повысить устойчивость проветривания можно путем изменения угла установки лопаток рабочего колеса или направляющего аппарата. Эффективность этого способа сравнительно невелика. Применяя его, можно повысить критическую депрессию обычно не более чем в 1,5-2 раза. При проведении практических расчетов можно принять, что критическая депрессия возрастает пропорционально депрессии шахты.

В некоторых случаях повысить критическую депрессию наклонной выработки можно с помощью закорачивания вентиляционных струй ниже очага пожара. Применяя этот вентиляционный маневр, следует учитывать, что с помощью его можно повысить критическую депрессию только в уклонных панелях, имеющих несколько параллельных наклонных выработок со свежим воздухом. Например, закорачиванием вентиляционной струи через выработку 10-7 (см. рис. 2.5) можно повысить критическую депрессию уклонов № 1 и 2. В уклонных панелях с одной наклонной выработкой со свежим воздухом применение указанного вентиляционного маневра бесполезно.

Определить эффективность мероприятий по повышению устойчивости проветривания наклонных выработок можно различными способами. Наиболее достоверные результаты могут быть получены при опытной проверке, которая заключается в том, что критическую депрессию определяют после осуществления мероприятий по повышению устойчивости. Этот же принцип используется при применении ЭВМ или электромоделлирующей установки.

Новое значение критической депрессии в некоторых случаях

можно рассчитывать без применения ЭВМ. При установке перемычек в сбойках, соединяющих параллельные наклонные выработки, критическую депрессию можно рассчитывать по формулам (2.30) и (2.31), подставив в них новое значение сопротивления параллельной выработки с учетом выполненных мероприятий.

В случае необходимости можно одновременно применять несколько мероприятий по повышению устойчивости. Например, в плане ликвидации аварий можно предусматривать одновременное закрывание пожарной двери в параллельной выработке и повышение депрессии вентилятора главного проветривания.

Недостатком всех перечисленных способов повышения критической депрессии является увеличение расхода воздуха в аварийной выработке. Для устранения этого достаточно закрыть пожарную дверь в аварийной выработке, что не повлияет на величину критической депрессии.

Если нельзя обеспечить устойчивое нисходящее проветривание наклонной выработки при пожаре, то следует рассмотреть возможность восходящего проветривания с помощью местного или общешахтного реверсирования вентиляционной струи. Однако при этом следует учитывать, что при восходящем проветривании возможно нарушение устойчивости проветривания выработок, прилегающих к пожарной, поэтому решение о целесообразности опрокидывания струи может быть принято только после анализа устойчивости выработок пожарного участка в реверсивном режиме.

Влияние различных вентиляционных маневров на устойчивость проветривания можно отобразить коэффициентом k , определяемым по формуле

$$k = h_{кр} / h_{кр0} \quad (2.33)$$

Таблица 2.1

Показатели влияния вентиляционных маневров на устойчивость проветривания уклонных полей

Вентиляционные маневры	Коэффициент k для групп уклонов	
	1	2
Установка перемычки:		
в горячей выработке	1	1
в параллельной	-	15,3
Ограничение подачи воздуха на соседние панели	1,35	1,35
Закорачивание вентиляционных струй:		
выше очага пожара	0,28	0,25
ниже очага пожара	1	1,42
Установка перемычек в сбойках, соединяющих уклоны со свежим воздухом	-	1,85

где $h'_{кр}$ и $h_{кр}$ - критическая депрессия выработки соответственно после выполнения вентиляционного маневра и в нормальных условиях, Па.

При $k > 1$ вентиляционный маневр повышает устойчивость проветривания, при $k < 1$ - снижает.

В табл. 2.1 приведены усредненные значения k для вентиляционных маневров, наиболее часто применяемых в ходе ведения горноспасательных работ в уклонных полях. При этом последние разделены на две группы:

группа 1 - уклонные поля с одной воздухоподающей выработкой (см. рис. 2.1);

группа 2 - уклонные поля с несколькими воздухоподающими выработками (см. рис. 2.5).

Данные, приведенные в табл. 2.1, получены на основе моделирования большого числа вентиляционных сетей угольных шахт Донбасса.

2.5. Расчет устойчивости проветривания при пожарах в наклонных выработках с восходящим движением воздуха

Устойчивость проветривания при пожарах в наклонных выработках с восходящим движением воздуха рассчитывают, исходя из неравенства (2.7). При этом тепловую депрессию определяют по методам, приведенным в разд. 2.2.

Определение сопротивления R необходимо начинать с анализа вентиляционной сети. Так, при пожаре в ходке 3 (см. рис. 2.1) ближайшей к очагу пожара ветвью, через которую продукты горения могут поступать в свежую струю воздуха, является ветвь 2. Ближайшим контуром рециркуляции является контур, образованный выработками уклонного поля и сбойкой 2. В этом контуре можно выделить пожарную часть, в которой после нарушения устойчивости проветривания направление движения воздуха не изменяется, и внешнюю часть, в которой под действием тепловой депрессии направление движения воздуха изменяется на противоположное.

Параметр R , входящий в неравенство (2.7), представляет собой общее аэродинамическое сопротивление пожарной части контура. Определяют его опытным или расчетным путем. В первом случае депрессию измеряют между началом и концом пожарной части контура. Если депрессию измеряют с помощью микроманометра и шланга, то последний прокладывают по кратчайшему маршруту. Затем определяют общий расход воздуха в пожарной части контура.

Параметр R вычисляют по контуру

$$R = h_n / Q_n^2, \quad (2.34)$$

где h_n - депрессия пожарной части контура, Па; Q_n - расход воздуха в горящей выработке, м³/с.

Применительно к схеме, изображенной на рис. 2.8, депрессию измеряют между узлами 2 и 3, а расход может быть замерен в уклоне или ходке.

При определении R расчетным путем используют графики (см. рис. 2.4).

Параметр Q_0 , входящий в неравенство (2.7), зависит от напорной характеристики анализируемого контура и пропускной способности его пожарной части. Определяют его следующим образом:

измеряют депрессию пожарной части контура h_1 и расход воздуха Q_1 в ней;

измеряют сопротивление пожарной части контура; если имеются условия, то сопротивление следует уменьшить, например посредством открывания вентиляционных дверей;

измеряют депрессию и расход воздуха, характеризующие проветривание пожарной части контура, h_2 и Q_2 ;

вычисляют значение искомого параметра по формуле

$$Q_0 = \sqrt{\frac{h_1 Q_2^2 - h_2 Q_1^2}{h_1 - h_2}}. \quad (2.35)$$

Если опытным путем определить Q_0 невозможно, то его вычисляют по следующей приближенной зависимости:

$$Q_0 = Q a, \quad (2.36)$$

где Q - общий расход воздуха в пожарной части контура в нормальных условиях, м³/с; a - поправочный коэффициент, принимается в зависимости от сопротивления пожарной части контура.

Сопротивление пожарной части контура, Н·с ² /м ⁸	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1,5	2
a	1,06	1,09	1,11	1,14	1,21	1,36	1,42	1,58	1,66

Если расчетом установлено, что под влиянием тепловой депрессии может произойти опрокидывание воздушной струи в параллельной выработке, то в плане ликвидации аварий следует предусматривать мероприятия по его предотвращению.

Наиболее простым и эффективным способом повышения устойчивости проветривания сети при пожаре в выработке с восходящим движением воздуха является закрывание пожарной двери перед очагом пожара, что не только повышает устойчивость проветривания, но одновременно снижает интенсивность развития пожара. Поэтому в планах ликвидации аварий целесообразно предусматривать закрывание пожарной двери ниже очага пожара и в тех случаях, когда не требуется повышать устойчивость проветривания.

Сопротивление, при котором исключается опрокидывание отдельных струй, определяется по формуле

$$R_p = h_r / Q_p^2 \quad (2.37)$$

Если фактическое сопротивление аварийной выработки меньше расчетного, то ее сопротивление необходимо увеличить на следующую величину:

$$R_{доп} > R_p - R \quad (2.38)$$

При хороших изоляционных свойствах пожарных дверей с аэродинамическим сопротивлением не менее $50 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$ обеспечивается устойчивое проветривание всех выработок аварийного участка шахты. Перемычку выгоднее устанавливать перед очагом пожара, считая по ходу движения воздуха.

Пожарная часть контура может иметь аэродинамические связи с внешней его частью. Из рис. 2.5 видно, что через ветвь *Е* пожарная часть контура связана с внешней сетью. Сопротивление *R*, подсчитанное по формуле (2.35), в данном случае является условной величиной, используемой для расчета устойчивости.

Расчет устойчивости проветривания на ЭВМ производится следующим образом. Рассчитывается естественное воздухо-распределение по выработкам сети. Затем в аварийную ветвь вводится тепловая депрессия, расчет воздухо-распределения повторяется и выявляются ветви, в которых опрокидывается струя. Аналогично определяют эффективность мероприятий по повышению устойчивости.

Пример 1. Определить возможность опрокидывания воздушной струи в ветви 1-4 (см. рис. 2.5) при пожаре в наклонной выработке 4-7, расходу воздуха в которой $Q = 18 \text{ м}^3/\text{с}$, тепловая депрессия $h_r = 1500 \text{ Па}$.

Решение. По формуле (2.34) находим условное сопротивление цепочки выработок 1-2-3-6-...-7-4, учитывая, что их депрессия равна депрессии ветви 1-4:

$$R_{усл} = 280/18^2 = 0,86 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$$

По формуле (2.36) определяем

$$Q = 1,38 \cdot 18 = 24,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

Исходя из неравенства (2.37), запишем условие стабильного проветривания сети

$$h_r < 0,86 \cdot 24,8^2 = 529 \text{ Па}$$

Поскольку неравенство не соблюдается, то при пожаре в наклонной выработке 4-7 может произойти опрокидывание струи в ветви 1-4.

По формуле (2.37) находим минимальное значение аэродинамического сопротивления, при котором исключается опрокидывание струи в ветви 1-4.

$$R_p = 1500/26,4^2 = 2,16 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$$

По формуле (2.38) определяем аэродинамическое сопротивление пожарной двери, установленной в выработке 4-7,

$$R_{доп} > 2,16 - 0,86 = 1,3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$$

Если фактическое сопротивление двери меньше расчетной величины, то необходимо принять меры по ее герметизации.

3. ОБЩЕШАХТНОЕ РЕВЕРСИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СТРУЙ

3.1. Основные факторы, влияющие на проветривание шахты при реверсировании вентиляционных струй

Одним из основных аварийных режимов является общешахтное реверсирование вентиляционных струй. Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах предусматривается его применение при пожарах в надшахтных зданиях воздухоподающих стволов, стволах и околоствольных дворах со свежим воздухом. В ходе ведения горноспасательных работ потребность в реверсировании струи может возникнуть при аварии в любой выработке шахты.

Высокая эффективность применения общешахтного реверсирования вентиляционных струй при авариях неоднократно подтверждалась практикой горноспасательного дела. Однако в связи с углублением горных работ, усложнением вентиляционных сетей, ухудшением газового и теплового режима шахт реверсирование вентиляции шахт не всегда приводило к достижению поставленной цели.

Учитывая высокую ответственность реверсивного режима проветривания, Правилами безопасности предписывается дважды в год производить практическую проверку оперативности его выполнения и соответствия нормативам расхода воздуха (не менее 60% от расхода в нормальном режиме проветривания) по шахте и в каждой выработке. Тем не менее, анализ результатов реверсирования и практика его применения при ликвидации подземных аварий показывает, что это требование не всегда выполняется, а в отдельных случаях вентиляционная струя вообще не опрокидывается. Это подтверждается результатами реверсирования вентиляционной струи на шахте № 4-2-бис ш/у им. XXII съезда КПСС ПО "Стахановуголь" (рис. 3.1).

Проветривание шахты осуществлялось вентилятором ВУПД 2.4 с подачей $150 \text{ м}^3/\text{с}$ при депрессии 3400 Па. Свежая струя воздуха поступала по стволу № 4 до гор. 515 м и далее по вертикальному стволу на горизонты 615 и 800 м. Исходящая струя выдавалась по скиповому стволу № 2-бис. После ввода в эксплуатацию гор. 800 м часть вентиляционной струи в реверсивном оказалась неуправляемой. Не удалось изменить направление движения воздуха в людском ходке (39-48) и ходке (41-46) и в откаточном штреке пл. l_6 (37-39). Введение дополнительного сопротивления в восточном квершлаг (18-20) гор. 515 м для ограничения поступления воздуха в очистные забой с целью усиления главной реверсивной струи не привело к ожидаемому результату.

Проведенные наблюдения показали, что депрессия главного

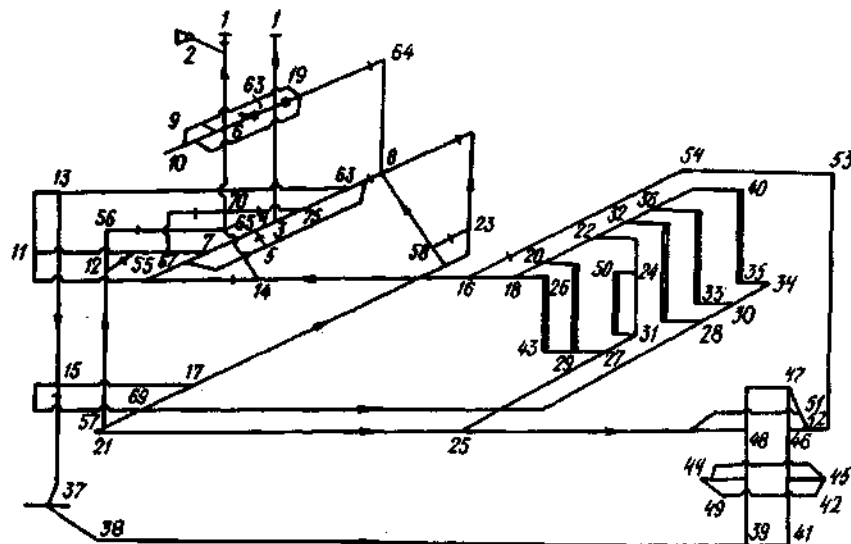


Рис. 3.1. Схема проветривания шахты № 4-2-бис ПО "Стахановуголь";
1-75 - номера узлов схемы

вентилятора в реверсивном режиме составляла 800 Па, а противодействующая ей естественная тяга - 495 Па. Учитывая, что из 800 Па больше половины расходовалось в канале вентилятора, оставшейся ее части оказалось явно недостаточно для преодоления естественной тяги и осуществления полного реверсирования вентиляционной струи. Основная часть депрессии вентилятора в шахтной вентиляционной сети после реверсирования терялась до гор. 615 м, а между ним и гор. 800 м составила всего 70 Па, в то время как естественная тяга - 102 Па. Поэтому в выработках ниже гор. 615 м вентиляционная струя не опрокинулась, возникла рециркуляция воздушного потока, сопровождающаяся накоплением метана.

В случае возникновения пожара на участке 37-39 выработки гор. 800 м окажутся заполненными продуктами горения. Кроме того, задымлению подлежат все выработки от точки 25 до поверхности по пути следования реверсивной струи, что усложнит вывод людей из шахты и ведение горноспасательных работ. Подобная картина будет наблюдаться и при пожаре в слепом стволе, однако положение ухудшится вследствие того, что в контуре 15-37-39-48-25 возможно неоднократное самопроизвольное опрокидывание струи (в зависимости от изменения тепловой депрессии в слепом стволе).

Эффективность реверсивного режима проветривания при возникновении и ликвидации аварий во многом зависит от того, насколько надежным было проветривание в нормальных условиях.

Отсюда возникает необходимость в выявлении и устранении основных причин, ухудшающих проветривание выработок шахт при реверсировании вентиляционной струи.

Исследованиями А.М. Карпова и И.И. Заблудина установлено, что наиболее существенно на расход воздуха, а следовательно, и устойчивость проветривания выработок оказывают влияние следующие основные факторы: изменение аэродинамического сопротивления путей внешних и внутренних утечек (подсосов) воздуха, потери депрессии на элементах вентиляторной установки и действие естественной тяги.

Реверсирование вентиляционной струи на современных шахтах осуществляется двумя способами: с помощью обводных каналов и изменением направления вращения рабочего колеса вентилятора (реверсивные вентиляторы). Наиболее распространенным является первый способ. Применение же реверсивных вентиляторов не всегда эффективно, так как их рабочие параметры в реверсивном режиме проветривания резко ухудшаются.

В связи с этим влияние отдельных факторов на эффективность реверсивного режима проветривания рассматривается для условий, когда общешахтное реверсирование вентиляционных струй осуществляется с помощью обводных каналов, хотя большинство выводов справедливо и для второго способа.

Внешние утечки (подсосы) воздуха. Основными причинами увеличения внешних утечек при реверсировании вентиляционной струи является плохая герметизация шлюзов надшахтного здания, неплотности в герметизации дверей для навески скипов, отсутствие породной подушки в бункерах копра, установка несамоуплотняющихся ляд, неисправность или отсутствие стопоров на лядах и каналах вентилятора, неплотное закрывание ляд из-за загрязнения каналов угольной пылью.

Степень влияния внешних утечек на режим проветривания шахты в каждом конкретном случае зависит не только от сопротивления путей внешних утечек, но и от сопротивлений элементов вентиляторной установки, параметров характеристики вентилятора, аэродинамической характеристики вентиляционной сети.

В большинстве случаев не обеспечивается герметизация ляд, установленных в каналах вентиляторных установок. Это происходит из-за неправильного монтажа и нарушения регулировки стопорных устройств на лядах, загрязненности каналов. В этой связи особое внимание следует уделять состоянию ляды в обводном канале резервного вентилятора. Например, при всасывающем проветривании в большинстве вентиляторных установок с центробежными (рис. 3.2) и осевыми вентиляторами ляды в обводных каналах 7 прижимаются к рамам и подсосы воздуха через них минимальны. При реверсировании одновременно изменяется рабочее положение нескольких ляд - открывается атмосферная лядя 8, опускается лядя 5, разделяющая всасывающую и нагнетательную части вентиляторной установки, под-

Таблица 3.1

Расходы воздуха в нормальном и реверсивном режимах проветривания

Шахта	Тип вентилятора	Подача вентилятора, м ³ /с		Расход воздуха в шахте, м ³ /с, при		Внешние утечки воздуха, м ³ /с, при режиме проветривания			
		нормальный режим Q _в	реверсивный режим Q _в '	нормальный режим Q _ш	реверсивный режим Q _ш '	нормальном		реверсивном	
						Q _у	Q _у /Q _н	Q _у '	Q _у '/Q _в '
Им. А.Ф.Засядько	ВОКД3	227	224	162	128	64,9	0,28	96	0,43
№ 9 "Капитальная"	ВУПД2.4	122	127	82	32	40	0,33	95	0,75
Ш/у "Петровское"	ВЦ 45	210	225	182	104	28	0,13	151	0,59
"Енакиевская"	ВЦ 25	145	90	73,4	37,2	71,6	0,49	58,8	0,85
"Объединенная"	ВЦ 45	213	231	192	165	21	0,1	66	0,28
Им. Артема	ВЦ 5	245	230	200	113	45	0,18	116	0,50
Им. Калинин	ВЦ 5	218	220	173	132	45	0,21	66	0,3
Им. Бажанова	ВЦ 5	223	280	130	75	93	0,42	206	0,73
"Тернопольская"	ВОКД1.8	73	46	59	35,4	14	0,19	10,6	0,23
"Винницкая"	ВОКД1.8	86	80	69	68,4	16,8	0,19	11,3	0,14
"Юбилейная"	ВЦО2.5	86	110	68	52,5	18	0,21	57,5	0,52
	ВОКД2.4	110	103,7	100	69,4	10	0,09	34,3	0,33

нимается ляда 4 в обводном канале рабочего вентилятора 3 и перекрывает диффузор этого вентилятора. К всасу вентилятора воздух поступает с поверхности через атмосферную ляду 8 и далее через обводной канал в ствол 6. Однако в этом случае ляда 1, разделяющая обводной канал и диффузор резервного вентилятора 2, "отжимается" под действием напора рабочего вентилятора 3 и воздух накоротко уходит в атмосферу.

Загрязнение каналов угольной пылью может привести к возникновению рециркуляции воздушного потока в вентиляционной установке. Это происходит в тех случаях, когда ляда, отсекающая всасывающую и нагнетательную части вентиляционной установки, не полностью перекрывает сечение канала вентилятора.

Влияние уменьшения сопротивления путей внешних утечек воздуха на режим проветривания шахты можно оценить по результатам реверсирования вентиляционных струй на некоторых шахтах Донбасса (табл. 3.1). Так, если в нормальном режиме проветривания внешние утечки (подсосы) воздуха составляли от 9,6 до 49%, то после реверсирования они увеличивались до 14-75% подача вентилятора главного проветривания.

Аэродинамическое сопротивление путей внешних утечек при реверсировании, как правило, уменьшается (табл. 3.2), если вентилятор главного проветривания установлен на скиповом стволе. Это уменьшение имеет в среднем семикратное значение, на вентиляционных шурфах и скважинах, не оборудованных подъемами, - двукратное значение. В отдельных случаях сопротивление путей внешних утечек уменьшалось в 14-62 раза. Это объясняется плохой герметизацией устьев стволов и каналов вентиляционных установок.

Потери депрессии на элементах вентиляционной установки. Депрессия вентилятора теряется в основном в канале вентилятора и во всасывающей будке (табл. 3.3). Так, на шахте "Винницкая" ПО "Шахтерскантрацит" потери депрессии на этих элементах составили 68,4% депрессии вентилятора в реверсивном режиме, на шахтах им. Артема ПО "Дзержинскуголь" 82%

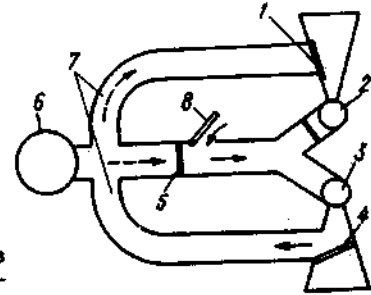


Рис. 3.2. Схема движения воздуха в вентиляционной установке при реверсировании вентиляционной струи

Распределение депрессии в нормальном и реверсивном режимах проветривания

Шахта	Депрессия вентилятора, Па		Депрессия шахты, Па		Депрессия канала, Па		Депрессия всасывающей будки, Па			
	нормальный режим H_b	реверсивный режим H'_b	H_b/H'_b	нормальный режим $H_{ш}$	реверсивный режим $H'_{ш}$	$H_{ш}/H'_{ш}$		нормальный режим H_k	реверсивный режим H'_k	H_k/H'_k
Им. А.Ф. Засядько	3460	3400	0,95	2950	1740	0,59	510	970	1,9	700
№ 9 "Капитальная"	3200	1580	0,49	2700	420	0,15	500	590	1,18	480
Ш/у "Петровское"	5900	3200	0,54	4350	2000	0,46	1550	700	0,45	500
"Енакиевская"	2000	3140	1,57	1200	300	0,25	800	140	0,14	2700
"Объединенная"	5850	4810	0,82	4950	3450	0,69	900	310	0,34	1050
Им. Артема	3650	3900	1,07	2050	700	0,34	1600	1700	1,06	1500
Им. Калинин	3500	-	-	1870	1150	0,61	1630	-	-	850
Им. Бажанова	4000	2800	0,7	3750	1370	0,36	250	180	0,47	250
"Тернопольская"	3100	1180	0,38	2880	1080	0,37	220	100	-	-
"Винницкая"	3400	3540	1,01	2540	1120	0,44	960	870	0,9	1550
"Юбилейная"	3400	1360	0,4	3230	1030	0,32	170	90	0,53	240
	2860	2100	0,73	2630	1370	0,52	230	360	1,56	370
	1670	-	-	660	1430	2,16	440	-	-	570

и "Енакиевская" ПО "Орджоникидзеуголь" 90%. Это было обусловлено большим аэродинамическим сопротивлением обводного канала, которое в среднем в 2,9 раза больше сопротивления прямого канала, и всасывающей будки (например, на шахте "Енакиевская" потери депрессии на будке составили 2700 Па). Потери депрессии во всасывающей будке определяются в основном размерами окон с жалюзи, через которые засасывается атмосферный воздух.

Сопротивление каналов вентиляторных установок при реверсировании увеличивается в 2-12 раз, а в некоторых случаях вследствие меньшего сечения обводных каналов, их большой длины и увеличения числа поворотов в 20 раз. Такое увеличение сопротивления характерно для вентиляторных установок с вентиляторами ВЦ4, ВЦ5, ВЦОЗ.1, ВЦД2.2, ВЦД3.3, ВЦД16, ВЦД25, ВЦД32, ВЦД40, ВУПД, ВОКД. Значительно меньше сопротивление вентиляторных установок, в которых каналы лежат в горизонтальной плоскости, а в качестве обводного канала используется диффузор, например, ВРЦД45, ВЦ45.

Суммарные потери депрессии на вентиляторной установке за счет обводного канала и всасывающей будки составляют в среднем 60% депрессии вентилятора. В каждом конкретном случае эти потери могут определяться специальным расчетом или с помощью депрессионной съемки.

Внутренние утечки воздуха. Анализ вентиляционных сетей шахт показал, что на многих из них наблюдаются большие внутренние утечки, достигающие 20-30% расхода воздуха, поступающего в шахту, и в некоторых случаях в 3-4 раза превышающие допустимые нормы. Из 167 рассмотренных шахт на 31 внутренние утечки достигали 20%, на 84 шахтах - 20-40%, а на 52 шахтах - более 40%. Большие внутренние утечки объясняются плохим качеством вентиляционных сооружений, и в первую очередь - вентиляционных дверей. Следовало ожидать, что при реверсировании вентиляционной струи роль внутренних утечек в обеспечении выработок воздухом будет возрастать. Проведенные эксперименты подтвердили это предположение. В шахтных условиях были обследованы прямые и реверсивные двери в 57 перемычках, установленных в различных местах. Качество реверсивных дверей оценивалось коэффициентом, выражающим соотношение сопротивлений реверсивной и прямой двери. Для обследованных дверей этот коэффициент изменялся в пределах 0,35-25,2, причем в 79% случаев его значение не превышало 6.

На основании анализа результатов выполненных исследований установлено, что при расчетах воздухораспределения в реверсивном режиме проветривания аэродинамическое сопротивление реверсивных дверей можно принимать в 2,5 раза меньшим, чем сопротивление прямых дверей.

При измерении депрессии на вентиляционных дверях было установлено, что в реверсивном режиме она снижалась в 28% случаев до 2 раз, в 52 - в 2-4 раза и в 20 - в 3-8 раз. В

Аэродинамическое сопротивление элементов вентиляционной сети в нормальном

Шахта	Сопротивление вентиляционной сети, $H \cdot c^2/m^8$			Сопротивление шахты, $H \cdot c^2/m^8$	
	нормальный режим, $R_c \cdot 10^{-2}$	реверсивный режим, $R_c' \cdot 10^{-2}$	$R_c/R_c' \times 10^{-2}$	нормальный режим $R_{ш} \cdot 10^{-2}$	реверсивный режим $R_{ш}' \cdot 10^{-2}$
Им. А.Ф. Засядько	0,67	0,68	1,01	1,1	1,07
№ 9 "Капитальная"	2,6	0,98	0,38	1	4,1
Ш/у "Петровское"	1,34	0,49	0,31	1,32	1,64
"Енакиевская"	0,95	0,39	0,41	2,2	2,18
"Объединенная"	1,29	0,9	0,75	1,35	1,27
Им. Артема	0,61	0,73	1,2	0,51	0,55
Им. Калинина	0,73	-	-	0,64	0,6
Им. Бажанова	0,81	3,48	4,2	2,16	2,04
"Тернопольская"	5,84	5,6	0,97	8,2	8,6
"Винницкая"	4,76	5,53	1,15	5,3	2,4
"Юбилейная"	4,6	1,13	0,25	7	3,7
	2,38	2,02	0,87	2,63	2,85
	10,4	-	-	1,06	-

среднем же депрессия вентиляционных дверей в реверсивном режиме уменьшалась примерно в 3 раза.

Несмотря на то, что расход воздуха по выработкам в реверсивном режиме проветривания уменьшается на 20-60%, а депрессия в 2-8 раз, утечки воздуха через реверсивные двери увеличились в среднем на 30% по сравнению с утечками через прямые двери в нормальных условиях проветривания. Этим подчеркивается, что при реверсировании вентиляционной струи влияние внутренних утечек на обеспеченность выработок воздухом возрастает. По этой причине иногда струя в удаленных выработках не опрокидывается. Так, при пожаре в конвейерном уклоне шахты им. Засядько ПО "Донецкуголь" вентиляционная струя в очистных забоях опрокинулась с большим опозданием и только после того, как горноспасатели сократили внутренние утечки через реверсивные вентиляционные двери.

Естественная тяга. На шахтах глубиной более 500 м направление действия естественной тяги, как правило, совпадает с работой вентилятора главного проветривания и способствует увеличению подачи в шахту свежего воздуха. При переходе на реверсивный режим работы естественная тяга по данным исследований от 15 мин до 2 ч действует в противоположном работе вентилятора направлении, тем самым снижая расход воздуха. После изменения направления движения вентиляционной струи изменяется температура в горных выработках, главным образом в стволах, поскольку в вентиляционный ствол по-

и реверсивном режимах проветривания

$R_{ш}'/R_{ш} \cdot 10^{-2}$	Сопротивление путей внешних утечек, $H \cdot c^2/m^8$			Сопротивление канала вентилятора, $H \cdot c^2/m^8$			Сопротивление всасывающей будки $R_b, H \cdot c^2/m^8$
	нормальный режим $R_y \cdot 10^{-2}$	реверсивный режим $R_y' \cdot 10^{-2}$	$R_y/R_y' \times 10^{-2}$	нормальный режим $R_x \cdot 10^{-2}$	реверсивный режим $R_x' \cdot 10^{-2}$	$R_x/R_x' \times 10^{-2}$	
0,94	5,3	1,9	0,36	0,1	0,19	1,9	0,14
1,02	16,8	0,4	0,028	0,12	0,36	2,5	0,35
1,23	55,5	0,9	0,016	0,35	0,11	0,3	0,08
0,99	2,37	1,06	0,45	0,26	0,35	1,35	3,33
0,94	13	7,9	0,77	0,2	0,06	1,17	0,17
1,08	10,2	0,52	0,052	1,26	0,32	1,2	0,28
0,93	93,5	-	-	0,12	-	-	-
0,94	4,5	0,33	0,073	0,04	0,15	3,7	-
1,05	147	96	0,65	0,22	-	-	-
0,45	90	88	0,98	0,33	1,12	3,4	2,42
0,52	100	3,1	0,031	0,23	0,07	0,3	0,28
1,08	263	17	0,44	0,18	0,33	-	0,34
-	29,4	-	-	2,75	-	-	3,56

ступает воздух с поверхности, а в воздухоподающий - исходящая струя из шахты. Ввиду этого с течением времени естественная тяга уменьшается до нулевого значения, а затем изменяется и направление ее действия, которое становится однонаправленным с работой вентилятора в реверсивном режиме. Следует подчеркнуть, что отрицательное действие естественной тяги сказывается в самое ответственное время - время выхода людей из шахты в случае возникновения пожара в главных воздухоподающих выработках. Это обстоятельство необходимо учитывать при составлении планов ликвидации аварий.

Изменение естественной тяги в переходный период рассмотрим на примере шахты им. Бажанова ПО "Макеевуголь" (зимнее время года). Исследование динамики температуры и естественной тяги проводилось в контуре скипового (вентиляционного) и клетьевого (воздухоподающего) стволов глубиной 1012 м. Температуру измеряли в устьях стволов, на промежуточном гор. 505 м и на сопряжениях стволов с выработками гор. 1012 м (всего 13 замерных пунктов). Общая продолжительность наблюдений при проведении эксперимента составила 5 ч, в том числе в реверсивном режиме проветривания 2 ч.

Характер изменения естественной тяги показан на рис. 3.3. Общая естественная тяга в нормальном режиме проветривания в контуре "поверхность - гор. 1012 м" составила 225 Па (кривая 1), в верхнем контуре "поверхность - гор. 505 м" - 80 Па

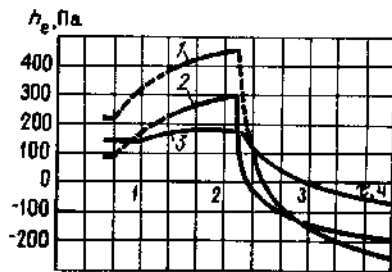


Рис. 3.3. Графики изменения естественной тяги после реверсирования вентиляционной струи

(кривая 2), а в нижнем контуре "гор. 505 м - гор. 1012 м" - 130 Па (кривая 3). После выключения калорифера и остановки вентилятора главного проветривания естественная тяга повысилась и достигла в соответствующих контурах 455, 300 и 160 Па. Через 15 мин после реверсирования струи естественная тяга в стволах приняла нулевое значение, причем в верхнем контуре она уменьшилась до нуля через 6 мин, а в нижнем - через 44 мин после начала реверсирования. В дальнейшем естественная изменила направление действия и стала способствовать работе вентилятора в реверсивном режиме. Через 2 ч она достигла 275 Па и составила 20% депрессии шахты. В верхнем и нижнем контурах ее значение было соответственно 200 и 80 Па.

Характерной особенностью формирования естественной тяги при переходе на реверсивный режим проветривания в летнее время года является сравнительно небольшой промежуток переходного периода (5-6 мин) и тот факт, что она всегда действует в противоположном работе вентилятора направлении.

В выработках выемочных полей естественная тяга при реверсировании остается практически неизменной как по величине, так и по направлению.

В результате увеличения внешних и внутренних утечек воздуха, а также потерь напора вентилятора на элементах вентиляторной установки резко снижается депрессия выработка шахты в реверсивном режиме проветривания. Депрессия шахты в целом снижается в 2-5 раз и более, выемочных полей - в 3-6 раз, выемочных участков - в 8-10 раз.

В этих условиях действие естественной тяги иногда приводит к запаздыванию реверсирования вентиляционных струй в удаленных выработках до 15-30 мин, а в отдельных случаях струя вообще не опрокидывается. В аварийной обстановке это может привести к образованию взрывоопасной газовой смеси.

Таким образом, для успешного применения реверсирования вентиляционных струй в современных шахтах необходимо учитывать действие перечисленных выше факторов.

3.2. Применение реверсивного режима проветривания в планах ликвидации аварий

Вопрос о включении горной выработки в зону общешахтного реверсирования вентиляционных струй должен решаться с учетом числа людей, попадающих в загазованную атмосферу, времени и условий их движения по загазованным выработкам, устойчивости вентиляционных струй в нормальном и реверсивном режимах проветривания, газовой обстановки в районе предполагаемого очага пожара.

Главным условием включения горной выработки в зону реверсирования является обеспечение безопасности людей, застигнутых в шахте аварией.

Если безопасные условия спасения людей не обеспечиваются, следует предусматривать местное реверсирование вентиляционной струи согласно Рекомендациям по применению местного реверсирования вентиляционных струй для спасения людей при пожарах в шахтах (ВНИИГД, 1984 г.).

Воздухоподающие выработки, в которых возможно реверсирование струи при возникновении пожара, делятся на четыре основные группы: стволы (включая надшахтные здания) и околоствольные дворы; главные выработки, по которым подается воздух на проветривание нескольких панелей, пластов, крыла шахты; выработки выемочных полей; выработки выемочных участков.

Воздухоподающие стволы (с надшахтными зданиями) и околоствольные дворы. При пожарах в выработках этой группы Правилами безопасности предусматривается общешахтное реверсирование вентиляционных струй. Особое внимание следует уделять стволам. В тех случаях, когда стволы с поступающей и исходящей струями связаны между собой, действие тепловой депрессии пожара в реверсивном режиме может привести к опрокидыванию потоков воздуха на вышележащих горизонтах по путям движения утечек воздуха. В такой ситуации возникает реальная угроза попадания продуктов горения в свежие струи и заполнения ими всех горных выработок шахты. Для предотвращения опрокидывания утечек сразу после реверсирования вентиляционной струи необходимо увеличивать аэродинамическое сопротивление аварийного ствола на участке ниже очага пожара или горных выработок, непосредственно примыкающих к стволу. В большинстве случаев для этой цели можно использовать пожарные двери.

Главные воздухоподающие выработки. В эту группу выработок входят коренные и групповые штреки, квершлагги, центральные уклоны и бремсберги, по которым воздух подается к отдельным крыльям шахты или выемочным панелям. Если при пожаре в этих выработках существует опасность появления тепловой депрессии, то необходимо определить ее влияние на проветривание. Особое внимание следует обратить на выработки с

восходящим потоком воздуха. При включении их в зону реверсирования необходимо определять возможность реверсирования вентиляционной струи с учетом противодействия тепловой депрессии пожара. Если расчеты показывают, что реверсирование невозможно, то следует разработать мероприятия, которые обеспечивали бы изменение направления движения вентиляционной струи с восходящего на нисходящее. При этом необходимо предусматривать одновременно с переводом шахты на реверсивный режим проветривания увеличение сопротивления параллельных выработок с сонаправленным движением воздуха (использование пожарных дверей или специально установленных регуляторов расхода воздуха).

При пожаре в горной выработке с нисходящим проветриванием и последующем реверсировании для повышения устойчивости вентиляционной струи необходимо увеличивать сопротивление аварийной выработки ниже очага пожара.

Практика показывает, что запаздывание реверсирования в этих выработках не превышает 10 мин.

При пожаре в тупиковой выработке, примыкающей к зоне общешахтного реверсирования вентиляционных струй, следует предусматривать ее включение в зону реверсирования. На негазовой шахте при этом допускается остановка ВМП.

Воздухоподающие выработки выемочных полей. При пожарах в воздухоподающих выработках выемочных полей (панельные штреки, уклоны, бремсберги) следует предусматривать и обеспечивать сохранение нормального режима проветривания. Включение этих выработок в зону реверсирования является крайней мерой и допускается только в тех случаях, когда для выхода людей из аварийного участка на маршрутах их движения необходимо оборудовать более одного пункта переключения в резервные самоспасатели или когда при пожаре не обеспечивается устойчивое проветривание аварийного участка. В наклонных выработках, включенных в зону реверсирования с нисходящей вентиляционной струей, необходимо производить оценку устойчивости проветривания в реверсивном режиме с учетом изменения направления движения воздуха с нисходящего на восходящее (см. разд. 2). В первую очередь расчеты выполняются для выработок, связывающих свежую и исходящую струи воздуха. В выработках с восходящей вентиляционной струей необходимо определить возможность реверсирования с учетом противодействия тепловой депрессии пожара. Если расчеты показывают, что после изменения направления движения воздуха с нисходящего на восходящее существует опасность нарушения устойчивости проветривания, то необходимо увеличить сопротивление этой выработки ниже очага пожара (закрывать пожарные двери, установить быстровозводимую перемычку).

Для обеспечения реверсирования в выработках с восходящим проветриванием необходимо увеличивать сопротивление параллельных выработок с однонаправленным движением воздуха.

На газовых шахтах при расширении зоны реверсирования в выработках, непосредственно примыкающих к выемочным участкам, необходимо рассчитывать содержание метана. Возможное время запаздывания реверсирования вентиляционной струи - до 30 мин.

Выемочные участки. При пожарах в воздухоподающих выработках выемочных участков сохраняется нормальный режим проветривания. Включение их в зону реверсирования допускается в исключительных случаях, когда для выхода людей из выемочного участка необходимо оборудовать более одного пункта переключения в резервные самоспасатели.

Для обоснования расширения зоны реверсирования выработок выемочных участков необходимо выполнить расчет возможности реверсирования вентиляционной струи в лаве и содержания метана в месте предполагаемого очага горения (разд. 3.3 и 3.4).

На крутых пластах допускается реверсирование вентиляционной струи при пожаре в лаве с нисходящим проветриванием. Это возможно только в том случае, если в лаве не обеспечивается устойчивое нисходящее движение воздуха.

Возможное время запаздывания опрокидывания вентиляционной струи в лаве при общешахтном реверсировании - более 30 мин. В отдельных случаях реверсирование вентиляционной струи в лаве не происходит.

3.3. Определение устойчивости вентиляционных струй в реверсивном режиме проветривания

Расчет устойчивости проветривания производится при возникновении пожара в наклонной выработке, а также в тех случаях, когда из горящей горизонтальной выработки нагретый воздух поступает в наклонную выработку.

Прежде чем приступить к расчету, рекомендуется выделить выработки, в которых возможно самопроизвольное опрокидывание воздушного потока под действием тепловой депрессии после реверсирования вентиляционной струи.

Расчет устойчивости проветривания при пожаре в выработке с нисходящей вентиляционной струей. В наклонных выработках с нисходящим проветриванием после реверсирования вентиляционной струи шахты проветривание становится восходящим и возникает угроза опрокидывания вентиляционных струй в выработках, связывающих поступающий и исходящий потоки воздуха.

Для уклонов полей с одной воздухоподающей выработкой условие, исключающее опрокидывание вентиляционной струи под действием тепловой депрессии пожара в реверсивном режиме проветривания, выражается следующим неравенством:

$$h_T < R_1(Q_0)^2,$$

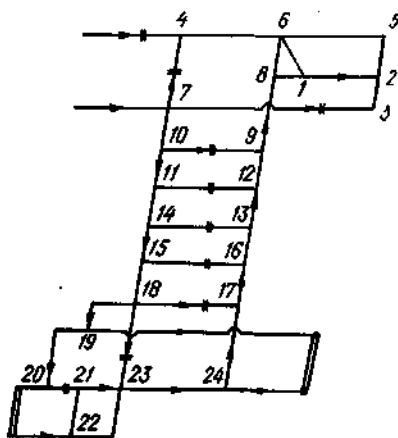


Рис. 3.4. Схема проветривания уклоного поля в реверсивном режиме: 1-24 - номера узлов схемы

где h_t - тепловая депрессия, рассчитанная для реверсивного режима проветривания, Па; R_a - сопротивление аварийной выработки в реверсивном режиме проветривания, $H \cdot c^3/m^2$; Q_0 - критический расход воздуха в аварийной выработке для реверсивного режима проветривания, m^3/c .

Величина Q_0 может определяться по данным непосредственных замеров в шахтных условиях. Так, для случая, когда пожар может возникнуть на участке 17-24 (рис. 3.4), при плановом реверсировании вентиляционной струи измеряют депрессию ветви 17-18 и расход воздуха в ветви 17-24 соответственно h'_1 и Q'_1 . Затем открывают вентиляционные двери на участке 18-23 и измеряют депрессию и расход воздуха в тех же выработках соответственно h'_2 и Q'_2 . Далее находят величину Q_0 по формуле (2.35):

$$Q_0 = \sqrt{\frac{h'_1(Q'_2)^2 - h'_2(Q'_1)^2}{h'_1 - h'_2}}$$

Величина R_a в этом случае определяется из выражения, аналогичного уравнению (2.1):

$$R_a = h'_1/(Q_0)^2.$$

Для приближенной оценки Q_0 можно воспользоваться данными о величине критической депрессии, которые получены при определении устойчивости нисходящих потоков воздуха в нормальном режиме проветривания H_0 . В этом случае Q_0 определяется из выражения

$$Q_0 = Q' \sqrt{1/(1 - h/H_0)}, \quad (3.1)$$

где Q' - расход воздуха, поступающего на участок при ре-

версивном режиме проветривания, m^3/c ; h - депрессия аварийного участка при нормальном режиме проветривания в ветви, Па; H_0 - критическая депрессия выработки (определяется по результатам измерений в шахтных условиях или расчетом шахтной вентиляционной сети на ЭВМ).

В последнем случае аэродинамическое сопротивление аварийного участка определяется по формуле

$$R_a' = 0,9h/Q'^2. \quad (3.2)$$

Устойчивость проветривания в реверсивном режиме можно рассчитать на ЭВМ [5]. Расчет выполняется в несколько этапов. На первом этапе определяется естественное воздухо-распределение в шахтной вентиляционной сети. Источником исходной информации являются депрессионные съемки. Данные об изменениях в шахтной вентиляционной сети за время, прошедшее с момента проведения депрессионной съемки, должны учитываться при расчете естественного воздухо-распределения. Главной особенностью расчета является учет действия естественной тяги. Естественная тяга, действующая в стволах, наклонных выработках выемочных полей и участков, определяется по данным, которые приводятся в отчетах о депрессионных съемках. В первом случае соответствующее значение естественной тяги вводят в ветвь, моделирующую участок ствола с исходящей струей, примыкающей к каналу вентилятора главного проветривания, во втором - в верхнюю часть наклонной выработки с исходящей струей выемочного поля, а в третьем - в наклонную выработку выемочного участка. В выемочных полях, где исходящая струя выдается по нескольким наклонным выработкам, естественная тяга вводится в верхнюю часть каждой из этих выработок. Значение естественной тяги во всех случаях принимают максимальным, рассчитанным по замерам температур для самого холодного времени года.

На втором этапе расчета должно быть выполнено моделирование воздухо-распределения в шахте при общешахтном реверсировании вентиляционной струи. Расчеты на ЭВМ выполняются по специальной программе, в которой учитываются изменения, происходящие в шахтной вентиляционной сети после реверсирования воздушного потока.

Устойчивость вентиляционной струи в горных выработках при пожаре оценивается после введения в наклонную выработку источника тяги, моделирующего тепловую депрессию пожара. Нарушение устойчивости проветривания при пожаре возможно в тех выработках, где после введения тепловой депрессии останавливается или изменяется направление движения вентиляционной струи.

Тепловая депрессия пожара определяется с учетом возможного места его возникновения. Причем, при возникновении пожара в выработке с нисходящей вентиляционной струей величину тепловой депрессии и ветвь, куда будет вводиться

источник тяги, следует определять с учетом изменения направления движения потока воздуха: вместо нисходящего - восходящий. При пожаре в выработке с восходящим проветриванием тепловую депрессию определяют с учетом изменения направления движения потока воздуха: вместо восходящего - нисходящий.

Для повышения точности расчетов необходимо определить сопротивления путей внешних и внутренних утечек воздуха, каналов вентиляторов при плановом реверсировании шахтных вентиляционных струй.

Пример 1. Определить возможность опрокидывания вентиляционной струи в ветви 13-14 (см. рис. 3.4) при пожаре на участке 13-16 в реверсивном режиме проветривания. Известно, что расход воздуха на участке 13-16 до пожара 16,7 м³/с, депрессия ветви 13-14 до пожара 155 Па, критическая депрессия части сети, расположенной ниже сбойки 13-14, равна 1340 Па. Расход воздуха на участке 13-16 при плановом реверсировании вентиляционной струи составил 0,6 от нормального. Тепловая депрессия пожара 130 Па формируется в пределах одного этажа на участке 13-16.

Решение. Определяем сопротивление участка сети R_0 , расположенного ниже ветви, для которой выполняется оценка устойчивости:

$$R_0 = 0,9 \cdot 155 / 16,7^2 = 0,5 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8.$$

По формуле (3.1)

$$Q_0 = 10 \sqrt{1 / (1 - 155 / 1340)} = 10,7 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Подставив в неравенство (2.7) полученные значения R_0 и Q_0 , имеем: $130 > 0,5 \cdot 10,7^2$.

Поскольку неравенство (2.7) не соблюдается, то при пожаре на участке наклонной выработки 13-16 и последующем реверсировании возможно опрокидывание вентиляционной струи в ветви 13-14.

Определение возможности реверсирования вентиляционной струи при пожаре в выработке с восходящим проветриванием. Условие реверсирования вентиляционной струи в горящей выработке с восходящей вентиляционной струей имеет следующий вид:

$$H_0' > h_r,$$

где H_0' - максимально возможная депрессия выработки в реверсивном режиме, Па.

Для определения H_0' измеряют депрессию h_1 и расход воздуха Q_1 в выработке при плановом реверсировании вентиляционной струи. Затем сопротивление выработки увеличивают, добиваясь максимального сокращения расхода воздуха (закрывают пожарные двери и уплотняют их пленкой или брезентом; устанавливают парашютную перемычку). Измеряют депрессию двери (перемычки) h_1 и расход воздуха в выработке Q_1 .

Депрессию выработки с учетом изменения ее сопротивления определяют по формуле

$$h_2' = h_1 + h_1'(Q_2'/Q_1)^2 \quad (3.3)$$

Максимально возможная депрессия наклонной выработки в реверсивном режиме проветривания определяется по формуле

$$H_0' = \frac{h_2'(Q_1')^2 - h_1'(Q_2')^2}{(Q_1')^2 - (Q_2')^2} \quad (3.4)$$

Пример 2. Оценить возможность реверсирования вентиляционной струи в наклонной выработке с восходящим проветриванием при составлении плана ликвидации аварий. Исходные данные: тепловая депрессия пожара 520 Па; депрессия выработки и расход воздуха в реверсивном режиме соответственно $h_1' = 240$ Па и $Q_1' = 16$ м³/с.

Решение. Определяем опытным путем максимально возможную депрессию наклонной выработки в реверсивном режиме проветривания. Для этого устанавливаем парашютную перемычку, в результате чего расход воздуха в выработке уменьшается до 5 м³/с, а депрессия на перемычке составляет $h_1 = 620$ Па.

Определяем депрессию выработки с перемычкой

$$h_2' = 620 + 240 (5/16)^2 = 644 \text{ Па}.$$

Максимально возможную депрессию рассчитываем по формуле

$$H_0' = \frac{644 \cdot 16^2 - 240 \cdot 5^2}{16^2 - 5^2} = 687 \text{ Па}.$$

Сравним полученную величину H_0' с максимальной тепловой депрессией пожара h_r :

$$687 > 520.$$

Условие реверсирования выполняется, следовательно, в аварийной выработке произойдет реверсирование вентиляционной струи.

3.4. Расчет газодинамических параметров горных выработок в реверсивном режиме проветривания

Переход на реверсивный режим проветривания, как правило, сопровождается уменьшением расхода воздуха и повторным прохождением вентиляционной струи по выработкам выемочных участков. В условиях газовых шахт это может привести к недопустимому увеличению содержания метана в горных выработках. Поэтому при составлении планов ликвидации аварий и решении вопросов о расширении зоны реверсирования особое внимание необходимо уделять предварительному прогнозу газовой обстановки на участках в реверсивном режиме проветривания.

В некоторых случаях, когда доля метановыделения из очистной выработки в газовом балансе участка достаточно велика, содержание метана в исходящей струе лавы в реверсивном режиме может превышать содержание метана на выходе

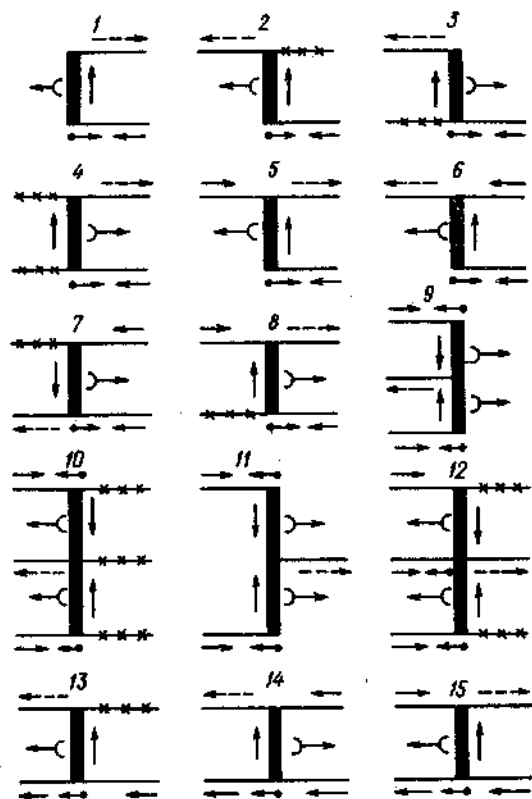


Рис. 3.5. Схемы проветривания выемочных участков

из участка. Поэтому при анализе газовой ситуации необходимо рассчитывать ожидаемое содержание метана как в исходящей струе лавы, так и в исходящей участка.

Все расчеты проводятся с учетом конкретных схем проветривания выемочных участков (рис. 3.5). При расчетах были использованы и следующие исходные данные: Q_n и Q_p - фактический расход воздуха в нормальном и реверсивном режимах проветривания в основной воздухоподающей выработке, m^3/c ; $Q_{лр}$ - фактический расход воздуха в лаве в реверсивном режиме, m^3/c ; c и c_0 - содержание метана соответственно в исходящей из участка и в поступающей на участок вентиляционной струе в нормальном режиме, % $I_{оч}$ и I - среднее фактическое газовыделение из очистной выработки и участка, m^3/c ; k_n - коэффициент неравномерности метановыделения из очистной выработки (табл. 3.4) [4]; $k_{ут}$ - коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство (табл. 3.5) [6].

Расчет содержания метана в горных выработках при общешахтном реверсировании вентиляционных струй. Для схем проветривания 1-12 содержание метана в реверсивном режиме на выходе из участка c_p рассчитывается по следующей формуле:

$$c_p = c_0 + (c - c_0)/k_{ут} + 100 (k_n I_{оч}/Q_p - (I - I_{оч}/Q_n)). \quad (3.5)$$

Для схем проветривания 1; 2; 5; 6; 9 и 11, кроме того, необходимо рассчитывать содержание метана на выходе из лавы по формуле

$$c_{лр} = c + 100 k_n I_{оч}/Q_p k_{ут}. \quad (3.6)$$

Следует отметить, что в схемах 9-12 расчеты выполняют отдельно для каждой лавы.

Для схем 13-15 ожидаемое содержание метана на выходе из участка рассчитывается по формуле

$$c_p = c_0 \left(1 - \frac{Q_{лр}}{Q_p} \right) + (c - c_0)/k_{ут} + 100 \left[\frac{k_n I_{оч}}{Q_p} + \frac{I - I_{оч}}{Q_p - Q_{лр}} \left(1 - \frac{Q_{лр}}{Q_p} \right) \right], \quad (3.7)$$

где $Q_{лн}$ и $Q_{лр}$ - расходы воздуха в дополнительной выработке, по которой транспортируется отбитый уголь, соответственно в нормальном и реверсивном режимах проветривания.

Расчет содержания метана на выходе из лавы для схем 13 и

Таблица 3.4

Коэффициент неравномерности метановыделения

Среднее метановыделение в очистной выработке, $m^3/мин$	k_n для условий			
	Донецкого и Львовско-Вольнского бассейнов	Кузнецкого бассейна и Воркутинского месторождения Печорского бассейна	Карагандинского бассейна	Интинского и Юньягинского месторождений Печорского бассейна
0,2	2,15	3,44	-	2,6
0,4	2	2,73	-	2,2
0,8	1,84	2,2	-	1,7
1,2	1,76	2,03	2,2	1,4
1,6	1,71	1,93	2	1,38
2	1,67	1,87	1,85	1,35
4	1,55	1,7	1,55	1,35
6	1,47	1,59	1,45	1,35
8	1,43	1,51	1,4	1,35
10	1,4	1,44	1,38	1,35
≥12	1,37	1,43	1,35	1,35

52 Коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработочное пространство

Схема проветривания выемочного участка (см. рис. 3.5)	Продольные выработки выемочного участка с вентиляционной струей		полном обрушении				k_{yt} при частичной закладке				главном отсуствии		
	сезней	исходящей	подлежающей	глинистые сланцы	песчаные сланцы	песчаные сланцы	глинистые сланцы	песчаные сланцы	глинистые сланцы	песчаные сланцы	глинистые сланцы	песчаные сланцы	глинистые сланцы
Возвратночная 4; 10 8	К целику То же	К целику То же	К выработочному пространству	1,25 1,5	1,3 1,65	1,4 1,8	1,1 1,2	1,15 1,25	1,25 1,35	1,1 1,15	1,15 1,3	1,15 1,3	1,15 1,3
1; 9	К выработочному пространству То же	К выработочному пространству То же	К выработочному пространству	1,4	1,55	1,7	1,2	1,25	1,4	1,15	1,3	1,15	1,3
5; 15	К целику То же	К целику То же	К целику	1,55	1,7	1,8	1,2	1,25	1,4	1,15	1,3	1,15	1,3
Прямочная 3	К целику	К выработочному пространству	К выработочному пространству	1,3	1,4	1,55	1,2	1,25	1,35	1,15	1,3	1,15	1,3
7; 12; 14 2; 11; 13	То же К выработочному пространству То же	К целику То же К целику	К целику	1,5 1,3	1,6 1,35	1,7 1,45	1,2 1,2	1,25 1,25	1,35 1,3	1,15 1,15	1,3 1,3	1,15 1,3	1,3 1,3
6	То же	То же	К выработочному пространству	1,5	1,55	1,65	1,2	1,25	1,35	1,15	1,3	1,15	1,3

15 (см. рис. 3.5) производится по формуле (3.6). Результаты расчетов должны использоваться при определении зоны общешахтного реверсирования вентиляционной струи.

Расчет необходимого расхода воздуха в горных выработках при общешахтном реверсировании вентиляционных струй. В схемах 3; 4; 7; 8; 10 и 12 расход воздуха определяется по формуле

$$Q_{p1} = \frac{100 k_{yt} I_{0yt}}{2 - c_0 - (c - c_0)/k_{yt} - 100(I - I_{0yt})/Q_n} \quad (3.8)$$

Для участков, имеющих схемы типа 1; 2; 5; 6; 9 и 11, кроме расчета по формуле (3.8) дополнительно рассчитывают необходимый расход воздуха на выходе из лавы

$$Q_{p2} = 100 k_{yt} I_{0yt} k_{yt} / (2 - c) \quad (3.9)$$

Наибольшая из двух величин Q_{p1} и Q_{p2} определит расход воздуха, который исключит образование газозвудушных смесей с содержанием метана более 2%.

Для схем проветривания типа 13 и 15 необходимый расход воздуха на участке находим из выражения

$$Q_{p1} = \frac{100 k_{yt} I_{0yt} - c_0 Q_{p2} - (I - I_{0yt}) / (Q_n - Q_{d,n}) 100 Q_p}{2 - c_0 - (c - c_0) / k_{yt} - (I - I_{0yt}) / (Q_n - Q_{d,n}) 100} \quad (3.10)$$

Для схем проветривания типа 13 и 15 кроме Q_{p1} необходимо определить по формуле (3.9) Q_{p2} . Наибольший расход воздуха (Q_{p1} и Q_{p2}) составит величину необходимого расхода воздуха на участке в реверсивном режиме.

Оценку газовой обстановки в выработках, примыкающих к выемочным участкам. Ожидаемое содержание метана в реверсивном режиме рассчитывают по формуле

$$c_p = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ip} Q_{ip}}{\sum_{i=1}^n Q_{ip}}$$

где c_{1p} , c_{2p} , ..., c_{ip} - ожидаемое содержание метана в выработках, по которым воздух поступает к горячей выработке, в реверсивном режиме проветривания; Q_{1p} , Q_{2p} , ..., Q_{ip} - расход воздуха в тех же выработках.

Пример 1. Оценить газовую обстановку на выемочном участке при переходе на реверсивный режим проветривания (условия Донецкого бассейна).

Исходные данные для расчета: лава обрабатывается прямым ходом; схема проветривания - возвратночная; выработки выемочного участка с вентиляционной струей примыкают к выработочному пространству; способ управления кровлей - частичная закладка; породы непосредственной кровли - песчаные сланцы; $I_{0yt} = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$ ($3 \text{ м}^3/\text{мин}$); $I = 0,06 \text{ м}^3/\text{с}$ ($3,6 \text{ м}^3/\text{мин}$); $Q_n = 10 \text{ м}^3/\text{с}$ ($600 \text{ м}^3/\text{мин}$); $Q_p = 6 \text{ м}^3/\text{с}$ ($360 \text{ м}^3/\text{мин}$); $c_0 = 0,1\%$; $c = 0,9\%$.

Решение. Из табл. 3.4 и 3.5 находим значения k_n и k_{yt} .

Определяем ожидаемое содержание метана при реверсивном режиме проветривания в исходящей струе из лавы на выходе из участка по формулам (3.5) - (3.6):

$$c_p = 0,1 + \frac{0,9 \cdot 0,1}{1,25} + 100 \left(\frac{1,61 \cdot 0,05}{6} + \frac{0,01}{10} \right) \approx 2,2\% ;$$

$$c_{лр} = 0,9 + 100 \frac{1,61 \cdot 0,05}{6} \cdot 1,25 = 2,58\% .$$

Как показывают расчеты, при переходе на реверсивный режим проветривания в струе воздуха, исходящей из лавы и участка, содержание метана превысит допустимую норму. Определим необходимый расход воздуха на участке (по газовому фактору) в реверсивном режиме по формулам (3.8) и (3.9):

$$Q_{p1} = \frac{100 \cdot 1,61 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,1 - (0,9 \cdot 0,1) / 1,25 - 100(0,06 - 0,05) / 10} \approx 6,9 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{p2} = \frac{100 \cdot 1,61 \cdot 0,05 \cdot 1,25}{1,1} = 9,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таким образом, в реверсивном режиме проветривания расход воздуха на участке должен быть не менее 9,1 м³/с.

4. МЕСТНЫЕ РЕЖИМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ

4.1. Местное реверсирование

При возникновении пожаров в наклонных выработках тепловая депрессия в некоторых случаях превышает напор, создаваемый в этих выработках вентилятором главного проветривания, настолько, что даже принятие мер по повышению устойчивости проветривания не позволяет стабилизировать направление воздушного потока в нормальном режиме проветривания. Чтобы не допустить самопроизвольного опрокидывания вентиляционной струи, появляется необходимость в ее преднамеренном реверсировании. Однако общешахтное реверсирование струи при пожарах в удаленных от стволов выработках нежелательно по причинам, изложенным в гл. 3. Более того, после перевода вентиляторов на реверсивную работу клетевые стволы и другие воздухоподающие выработки оказываются заполненными продуктами горения, что значительно затрудняет передвижение горноспасателей и доставку средств пожаротушения к месту аварии. Лучшим решением вопроса является местное реверсирование.

Под *местным реверсированием* вентиляционных струй понимается локальное изменение направления воздушного потока в отдельных выработках шахт увеличением или уменьшением аэродинамического сопротивления звеньев шахтной сети при со-

хранении нормальной работы вентилятора главного проветривания. Изменение сопротивления достигается закрыванием пожарных (вентиляционных) дверей, возведением перемычек, закорачиванием вентиляционных струй. Например, если сопротивление выработок 3-4 и 5-6 (рис. 4.1) уменьшить, открывая двери, а сопротивление выработок 1-5 и 4-2 увеличить, установив в них перемычки, то направление движения воздуха в лаве 4-5 изменится на противоположное.

Цели местного реверсирования заключаются в следующем: кратчайшим путем отвести продукты горения из выработки с очагом пожара в исходящую струю воздуха, не нарушая проветривания других участков шахты; создать условия горноспасателям для выполнения разведки; не допустить распространения пожара по горным выработкам; обеспечить возможность подхода горноспасателей к очагу пожара и создать условия для эффективного применения различных средств пожаротушения.

Местное реверсирование по сравнению с общешахтным реверсированием обладает следующими преимуществами: не изменяется режим работы вентиляторов главного проветривания; необходимо преодолевать действие лишь небольшой части естественной тяги; продукты горения не поступают в основные транспортные выработки.

К основным недостаткам местного реверсирования относится ограниченная область применения, а также организационные и технические сложности его осуществления.

Местное реверсирование возможно при наличии в шахтной сети *диагоналей* - выработок, по которым воздух при изменении сопротивлений определенных ветвей сети может изменять направление движения на противоположное. При их нахождении рекомендуется руководствоваться следующим правилом: если при движении от начала сети до ее конца можно пройти по какой-либо ветви, не заходя дважды в один и тот же узел, в направлении, противоположном движению воздуха, то такая выработка будет диагональю. Например, от начала сети (точка 1, см. рис. 4.1) до ее конца (точка 6) можно пройти по маршруту 1-5-4-2-3-6 и по маршруту 1-2-3-4-5-6. В первом случае движение осуществляется в направлении, противоположном движению воздуха, по ветвям 4-5 и 2-4, не заходя дважды в один и тот же узел, в другом случае - по ветви 4 - 3. Тогда ветви 2-4, 4-5 и 4-2 являются диагоналями. Таким образом, представленная на рис. 4.1 схема позволяет осуществить местное реверсирование вентиляционных струй только в трех ветвях: 2-4, 4-5 и 4-3.

Наибольшее влияние на направление движения воздуха в рассматриваемой диагонали, например, 4-5, оказывают ветви, образующие вместе с ней два контура (рис. 4.1). Контур первый образует вместе с диагональю 4-5 ветви 1-2, 2-4 и 1-5, второй - ветви 4-3, 3-6 и 5-6. Оба контура составляют диа-

гональное соединение. Точка 1 является начальной точкой соединения, точка 6 - конечной.

Для изменения направления движения воздуха в диагонали 4-5 необходимо, чтобы вентиляционное давление в точке 5 стало больше, чем в точке 4. Депрессия диагонали 4-5 равна при этом

$$h_x = h_0 - h_1 - h_2, \quad (4.1)$$

где h_0 - общая депрессия диагонального соединения, Па; h_1 - депрессия ветви 1-5, входящей в контур 1, Па; h_2 - депрессия ветвей 4-3 и 3-6, входящих в контур 2, Па.

Осуществлению местного реверса может препятствовать естественная тяга или тепловая депрессия пожара. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы депрессия диагонали была максимальной, что достигается снижением значений h_1 и h_2 . Депрессия h_1 определяется из уравнения:

$$h_1 = R_{1-5} (Q_1 + Q_{5-6})^2, \quad (4.2)$$

где R_{1-5} - сопротивление ветви 1-5, $\text{H} \cdot \text{с}^2/\text{м}^5$; Q_1 и Q_{5-6} - расход воздуха соответственно в диагонали 4-5 и в ветви 5-6, $\text{м}^3/\text{с}$.

Из уравнения (4.2) видно, что для уменьшения депрессии следует максимально уменьшить аэродинамическое сопротивление ветви 1-5 и расход воздуха в ветви 5-6. Снижение сопротивления достигается, как правило, открыванием вентиляционных

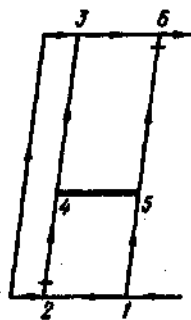


Рис. 4.1. Схема выемочного участка
1-6 - номера узлов схемы

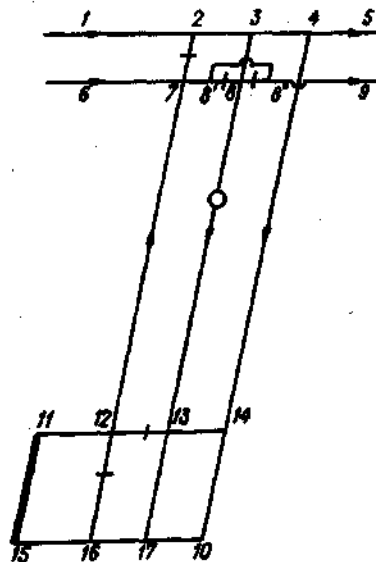


Рис. 4.2. Схема проветривания уклонной панели
1-17 - номера узлов схемы

дверей, уменьшение расхода воздуха - установкой перемычек или закрыванием пожарных дверей.

Аналогично анализируются факторы, определяющие депрессию h_2 . Чтобы уменьшить ее величину, следует снизить сопротивление ветвей 4-3 и 3-6, а также расход воздуха в них. Последнее достигается установкой перемычек в ветвях 2-4 и 2-3.

Из формулы (4.1) видно, что депрессия диагонали не может быть больше депрессии диагонального соединения. Поэтому во всех случаях следует стремиться к увеличению последней. Это достигается повышением депрессии вентилятора главного проветривания или ограничением подачи воздуха на другие панели.

При проведении местного реверсирования вентиляционных струй следует учитывать также величину и направление естественной тяги и тепловой депрессии пожара, а также метаобильность выработок. Рассмотрим это на конкретном примере. На рис. 4.2 показана схема проветривания уклонной панели вместе с прилегающими выработками. Свежий воздух на проветривание панелей шахты подается из магистрального штрека 1-2-3-4-5, затем он поступает по двум уклонам 3-8-13-17 и 4-14-10. Отработанный воздух выдвигается по ходу 12-7 в вентиляционный штрек 6-7-8-8'-9. Рассмотрим случай пожара на участке уклона 8-13. Последний является диагональю, так как согласно вышесказанному правилу по нему можно пройти от начала сети (точка 1) до ее конца (точка 9) в направлении, противоположном движению воздуха, не заходя дважды в один и тот же узел (по маршруту 1-2-3-4-14-13-8'-8-9). Перемещаясь от конца диагонали 13 по маршруту 13-14-4 навстречу движению воздуха, приходим в точку 3. Двигаясь по маршруту 8-3 навстречу движению воздуха, также приходим в точку 3. Следовательно, точка 3 является началом диагонального соединения. Двигаясь по ходу движения воздуха от концов диагонали, находим ближайшую точку слияния струй воздуха 8. Она является концом диагонального соединения.

Полагаем, что при местном реверсировании основная часть воздуха будет двигаться по маршруту 3-4-14-13-8-8'. При этом тепловая депрессия пожара будет способствовать опрокидыванию струи в диагонали. Поэтому самым трудным будет первоначальный период, при котором тепловая депрессия близка к нулю. На этот период следует ориентироваться при расчетах.

Далее намечаются мероприятия по снижению депрессий h_1 и h_2 . В данном случае

$$h_1 = R_{3-4} Q_{3-4}^2 + R_{4-14} Q_{4-14}^2 + R_{4-13} Q_{4-13}^2,$$

где R_{3-4} и Q_{3-4} - соответственно аэродинамическое сопротивление и расход воздуха в ветви 3-4; R_{4-14} и Q_{4-14} - то же для ветви 4-14; R_{4-13} и Q_{4-13} - то же для ветви 4-13.

Уменьшить сопротивление ветвей 3-4, 4-14 и 4-13 невозможно, так как в них нет перемычек. Снизить расход воздуха в указанных ветвях можно путем установки перемычек в ветвях 5-4 и 7-8'. При выборе воздухопроницаемости перемычек следует учитывать, что они должны пропускать расчетное количество воздуха, исключающее образование взрывоопасного содержания метана на выемочном участке 16-15-11-12.

Депрессия h_2 определяется из следующей формулы:

$$h_2 = R_{8-8'} Q_{8-8'}^2,$$

где $R_{8-8'}$ и $Q_{8-8'}$ - соответственно сопротивление и расход воздуха в ветви 8-8'.

Снижение сопротивления ветви 8-8' достигается открыванием двери. Уменьшение расхода воздуха обеспечивается в первую очередь закрыванием пожарной двери или установкой перемычки в ветви 3-8. При этом следует добиваться максимальной герметичности перемычки, так как газовыделение в выработке 3-8 практически отсутствует. Дополнительно снизить расход воздуха в ветви 8-8' можно путем открывания двери 8-8'.

Таким образом, для того чтобы осуществить местное реверсирование вентиляционных струй, необходимо увеличить сопротивление ветвей 5-4, 7-8' и 3-8 и уменьшить 8-8' и 8-8'.

Определить возможность осуществления местного реверсирования струи (с учетом выполнения намеченных мероприятий) можно опытным путем, с помощью ЭВМ или аналитически.

Первый способ наиболее простой. Сущность его заключается в выполнении намеченных мероприятий непосредственно в шахтных условиях и замере расхода воздуха в отдельных выработках. Увеличение сопротивления выработок достигается закрыванием пожарных дверей или установкой бытвозводимых перемычек парашютного типа, уменьшение - открыванием вентиляционных дверей. При отсутствии тепловой депрессии способ обеспечивает высокую точность. Основной его недостаток - ограниченность анализа местного реверсирования, так как можно получить только фактическое распределение воздуха без учета изменений его, вызванных тепловой депрессией пожара.

Второй способ (расчет на ЭВМ) позволяет при наличии достоверной исходной информации выполнить всесторонний анализ местного реверсирования. Расчет может производиться по стандартным программам. При этом сопротивление, $H \cdot c^2 / m^8$, открытых дверных проемов, шлюзов рекомендуется определять по формуле

$$R_d = 1,78 / S \sqrt{S}, \quad (4.3)$$

где S - площадь дверного проема, m^2 .

В некоторых случаях ориентировочно можно оценить местное реверсирование аналитически.

Как уже отмечалось, при пожарах в панельных выработках нецелесообразно реверсировать вентиляторы главного про-

ветривания. В то же время на многих шахтах уклонные панели имеют по две и более ступени. Общая протяженность маршрутов движения людей, выходящих из аварийного участка, лишь в пределах панели достигает 5-6 км. Это затрудняет спасение людей, находящихся в очистных и подготовительных забоях. В этих условиях можно рекомендовать применение местного реверсирования, которое существенно уменьшает зону загаживания. Чтобы повысить надежность и расширить область применения этого вентиляционного режима, в некоторых случаях следует изменить схему проветривания панели.

В качестве примера рассмотрим уклонную панель, показанную на рис. 4.3. Свежий воздух на проветривание забоев подается по трем наклонным выработкам: уклону № 1 В, западному А и восточному С ходкам. Отработанный воздух отводится по вентиляционному ходу D. В случае возникновения пожара в любой из наклонных воздухоподающих выработок продукты горения попадают в очистные и подготовительные забой, что осложняет ведение горноспасательных работ.

При возникновении пожара в восточном ходке пожарные газы можно отвести в исходящую струю, применив местное реверсирование, которое осуществляется открыванием дверей шлюза 11-8 и закрыванием пожарной двери на участке 1-4. То же самое можно осуществить и при пожаре в западном ходке. Для опрокидывания в нем струи воздуха необходимо открыть вентиляционные двери в ветви 10-9 и закрыть пожарную дверь в ветви 2-9. Несмотря на принципиальную возможность местного реверсирования в указанных выработках, использовать его в плане ликвидации аварии затруднительно, так как у вентиляционных дверей не всегда находятся люди, которые могли бы их незамедлительно открыть. Уклон № 1 не является диаго-

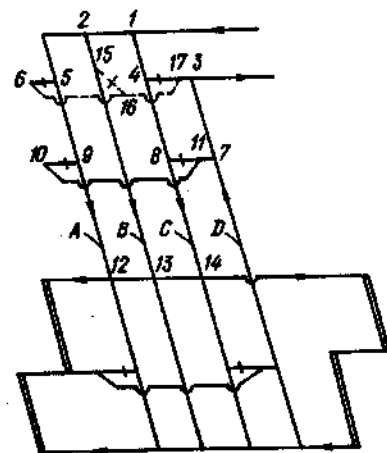


Рис. 4.3. Упрощенная схема проветривания уклонного поля:
1-17 - номера углов схемы

Промышленные объекты, шахта	Выемочное поле	Расход воздуха в воздухоподающей выработке, м ³ /с		Расход воздуха в лаве, м ³ /с		Число регулирующих ветвей	Место пожара
		в нормальном режиме	при местном реверсе	%	в нормальном режиме		
"Красноармейскуголь": № 3 - 3-бис	Северное уклонное	20,1	20	99	6,4	6,7	105
им. ХХІ съезда КПСС № 1-2 "Доброполье" "Украина" "Донецкуголь" им. Калинина	Уклонное Бремсберговое Уклонное	3,8	3,1	82	-	-	-
		9,8	4,5	46	8,4	6,0	71
		8,4	4,2	50	4,2	1,5	35
		4,9	2,4	49	4,6	3,7	81
"Украинауголь": № 3 "Великоновосовская" № 9 "Новоельзальская" № 3 "Великоновосовская"	Лавы по востановочной станции	9,7	4,2	43,5	7	7,5	107
		8	3,5	44	7	7,5	107
"Павлоградкуголь", "Степная" "Макеевуголь", № 21	Лавы по падению Западное уклонное	5,2	3,4	64	5,2	3,4	64
		2,5	0,6	25	2,5	0,6	26
"Сталкозуголь", им. Ильича "Артемвуголь", им. Калашникова	Уклонное № 1 Пл. "Пята", гор. 630 м	7,6	9,5	125	2,9	2,5	86
		7,2	1,4	19,5	3,4	4,7	13
"Степная" "Макеевуголь", № 21	Восточное уклонное	12,2	17,6	145	8	2	25
		3,5	3	86	1,5	1	66
"Степная" "Макеевуголь", им. Калашникова	Уклонное № 1	6,7	4,8	72	5,4	3,2	59
		3,2	2,7	85	-	-	-

налью. При возникновении в нем пожара избежать загазирования лав невозможно.

Если в верхней части панели пройти обходную выработку 6-16-17 (на рис. 4.3 показана пунктиром) и установить в ней двери 6-5 и 15-16, то на случай возникновения пожара в любой наклонной выработке со свежим воздухом в плане ликвидации аварий можно предусмотреть местное реверсирование вентиляционных струй. Осуществляется оно открыванием дверей между аварийной и обходной выработками и закрыванием пожарной двери в верхней части горящей выработки.

Ввиду отсутствия в настоящее время серийно выпускаемых автоматических вентиляционных или пожарных дверей, надежно срабатывающих от дистанционного включения, местное реверсирование вентиляционных струй для планов ликвидации аварий рекомендуется только там, где открывание или закрывание дверей могут производить горнорабочие, находящиеся вблизи вентиляционных сооружений в течение суток. Для повышения надежности принятого аварийного вентиляционного режима исполнителями должны быть члены вспомогательных горноспасательных команд. Они должны быть ознакомлены с последовательностью мероприятий по ликвидации аварии и безопасными маршрутами движения после опрокидывания струи воздуха в аварийной выработке. В плане ликвидации аварий необходимо предусмотреть, чтобы первое отделение, прибывшее на аварийный участок, проверило и в случае необходимости выполнило мероприятия по осуществлению местного реверсирования.

Результаты опытного применения местного реверсирования на шахтах Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов при различных типах выемочных полей - уклонных, бремсберговых, подготовленных столбами по восстанию и падению, а также на участках с крутопадающими пластами - приведены в табл. 4.1. Из нее следует, что местное реверсирование вентиляционной струи осуществляется, как правило, посредством изменения аэродинамических сопротивлений не менее чем двух определяющих ветвей. Средний расход воздуха в воздухоподающих выработках в реверсивном режиме проветривания составил 69% расхода в нормальном режиме, а в лавах - 63%. Особенность местного реверсирования вентиляционных струй и его отличие от общешахтного реверсирования заключается в том, что расход воздуха в удаленных выработках может изменяться не только в сторону уменьшения, но и в сторону увеличения. Это исключительно важно при возникновении пожара в выработках участков с высокой газообильностью, где содержание метана в исходящих струях в нормальных условиях эксплуатации близко к предельно допустимому значению. Следует отметить, что при местном реверсировании струи в выработках выемочного поля практически не нарушается режим проветривания других выемочных полей как по направлению, так и по расходу воз-

духа. Не изменяется и режим работы вентиляторов главного проветривания.

Давление воздуха в аварийной выработке после осуществления местного реверсирования, как правило, уменьшается в небольших пределах (на 30-50 Па).

4.2. Анализ влияния тепловой депрессии на местное реверсирование вентиляционных струй

Влияние тепловой депрессии на возможность осуществления местного реверсирования можно показать на примере простого диагонального соединения. Предположим, пожар возник в наклонной выработке 2-4, лежащей на диагонали, и в ходе ликвидации аварии необходимо осуществить местное реверсирование струи (рис. 4.4, а). С этой целью в ветвях 1-2 и 3-4 необходимо установить перемычки. Направление движения воздуха в ветви 2-4 после реверсирования изменяется на противоположное. Известно, что при нисходящем проветривании тепловая депрессия в выработке 2-4 действует в противоположном направлении депрессии вентилятора, а при восходящем - в одном.

Рассмотрим случай, когда при местном реверсировании тепловая депрессия действует в противоположном направлении депрессии вентилятора. В начальный период аварии тепловая депрессия близка к нулю. По мере развития пожара она увеличивается и может стать равной депрессии, создаваемой вентилятором главного проветривания в ветви 2-4, тогда движение воздуха в диагонали прекратится. Депрессия вентилятора в этот момент соответствует своему критическому значению. Если тепловая депрессия превысит критическую депрессию вентилятора, то в ветви 2-4 произойдет самопроизвольное опрокидывание струи и воздух будет двигаться в том направлении, в каком он двигался до осуществления местного реверсирования.

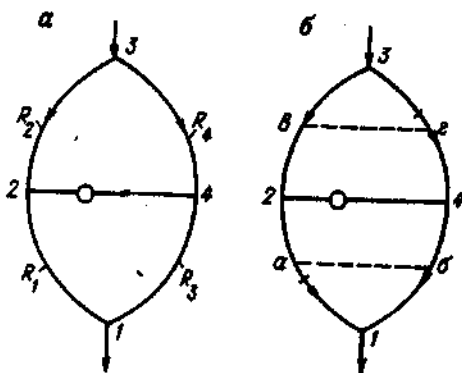


Рис. 4.4. Однодиагональная (а) и многодиагональная (б) схемы соединений

На основании второго закона сетей можно записать, что критическая депрессия определяется по формуле

$$h_{кр} = h_d = h_1 - h_3, \quad (4.4)$$

где h_d - депрессия диагонали 2-4; h_1 - депрессия ветви 1-2; h_3 - депрессия ветви 1-4.

Если обозначить общую депрессию диагонального соединения через h_0 , то

$$h_3 = h_0 - h_4. \quad (4.5)$$

Подставив значение h_3 в формулу (4.4) и раскрыв значения входящих параметров, получим

$$h_{кр} = h_1 + h_4 - h_0 = R_1 Q_1^2 - R_4 Q_4^2 - h_0. \quad (4.6)$$

Из уравнения (4.6) следует, что критическая депрессия диагонали определяется главным образом сопротивлением перемычек R_1 и R_4 . Сопротивление выработок R_2 и R_3 оказывает незначительное влияние на критическую депрессию, так как в реальных условиях сопротивление их намного меньше сопротивления перемычек.

В пределе, если $R_1 \rightarrow \infty$, то $R_1 Q_1^2 = h_0$. Это вызвано тем, что по условию задачи движение воздуха отсутствует, поэтому потеря депрессии на участке 2-3 равна нулю. По этой причине, если $R_4 \rightarrow \infty$, то $R_4 Q_4^2 = h_0$. Тогда из формулы (4.6) следует, что

$$h_{кр,пр} = h_0. \quad (4.7)$$

Из формулы (4.7) вытекает, что если тепловая депрессия, возникающая в диагонали, больше депрессии диагонального соединения, то осуществить местное реверсирование струи невозможно.

Депрессия диагонального соединения величина не постоянная. Она изменяется с изменением общего расхода воздуха, достигая максимального значения при $Q = 0$. Это возможно, если сопротивление перемычек

$$R_1 = R_4 = \infty.$$

Но в реальных условиях перемычки не являются абсолютно герметичными, а следовательно, утечки воздуха неизбежны. Все это сужает область применения местного реверсирования, поэтому для повышения устойчивости проветривания диагонали 2-4 в реверсивном режиме следует установить перемычки в диагоналях а-б и в-г. С целью сокращения числа перемычек их выгодно устанавливать в ветвях а-2 и г-4. Если после осуществления местного реверсирования воздух в диагонали движется сверху вниз, то тепловая депрессия способствует осуществлению этого вентиляционного маневра.

Опасность опрокидывания отдельных вентиляционных струй существует и при однонаправленном действии тепловой де-

прессии и вентилятора главного проветривания. При этом давление в точке 4 повышается, а в точке 2 - уменьшается (см. рис. 4.4, а), вследствие чего возможно опрокидывание струй в ветвях 1-2 и 3-4. Началом опрокидывания струи в ветви следует считать момент, когда движение воздуха в ней прекратится. Тепловая депрессия, соответствующая этому моменту, является критической. На основании второго закона сетей можно составить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} R_2 Q_0^2 + R_1 (Q_0 - Q_A)^2 = h_0; \\ R_1 (Q_0 - Q_A)^2 = h_{т.кр} + R_A Q_A^2 + R_3 Q_A^2, \end{cases} \quad (4.8)$$

где Q_0 - общий расход воздуха в диагональном соединении; Q_A - расход воздуха в диагонали; $h_{т.кр}$ - критическая тепловая депрессия.

Преобразуя систему уравнений (4.8), получим

$$h - R_2 Q_0^2 = h_{т.кр} + R_A Q_A^2 + R_3 Q_A^2,$$

откуда

$$Q_A = \sqrt{\frac{h_0 - h_{т.кр} - R_2 Q_0^2}{R_A + R_3}}. \quad (4.9)$$

Для контура 3-2-4-3

$$R_2 Q_0^2 + R_A Q_A^2 + h_{т.кр} = 0. \quad (4.10)$$

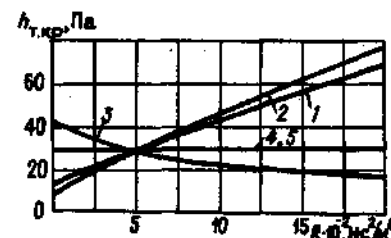
Подставим в (4.10) значение Q_A . После соответствующих преобразований получим

$$h_{т.кр} = \frac{R_2 / (R_A + R_3) (R_2 Q_0^2 - h_0) - R_3 Q_0^2}{1 - R_A / (R_A + R_3)}. \quad (4.11)$$

Анализируя формулу (4.11), можно сделать следующие выводы: критическая тепловая депрессия зависит не только от сопротивления диагонали, но и от сопротивлений тех ветвей, в которых всегда сохраняется нормальное направление движения воздуха (R_2 , R_3); сопротивление ветвей R_2 и R_4 , опасных по опрокидыванию, не влияет на критическую депрессию.

Численный анализ (4.11) затруднен потому, что при изменении сопротивления любой ветви изменяется также депрессия всего диагонального соединения, поэтому его целесообразно выполнить с помощью ЭВМ. В качестве примера на рис. 4.5 приведены результаты расчетов, которые показали, что увеличение в 100 раз сопротивления диагонали повышает критическую тепловую депрессию в 5 раз (прямая 1). Увеличение в таких же пределах сопротивления R_2 увеличивает эту депрессию в 7,7 раза (прямая 2), а увеличение сопротивления R_3 снижает ее в 2,3 раза. Изменение сопротивлений R_1 и R_4 , в которых возможно опрокидывание, не влияет на критическую тепловую депрессию (кривые 3, 4 и 5).

Рис. 4.5. Зависимость критической депрессии $h_{т.кр}$ от сопротивления R ветвей диагонального соединения



Наличие дополнительных диагоналей (а-б, в-г, см. рис. 4.4, б) снижает общее сопротивление диагонального соединения. В результате этого увеличивается расход воздуха Q_0 и снижается депрессия h_0 .

С другой стороны, из теории вентиляционных сетей известно, что к последовательно соединенным выработкам с разными расходами воздуха применимо понятие *условного сопротивления*, под которым понимается общее сопротивление ветвей последовательного соединения, имеющих различающиеся расходы, отнесенные к одному из этих расходов, т.е.

$$R_n = R_n + R_1 (Q_1/Q_n)^2 + \dots + R_{n-1} (Q_{n-1}/Q_n)^2. \quad (4.12)$$

Применительно к схеме, показанной на рис. 4.4, сопротивление ветви 2-3 определяется из выражения

$$R_{2-3} = R_{3-6} + R_{6-2} Q_{6-2} / Q_{3-6}, \quad (4.13)$$

где R_{3-6} и R_{6-2} - сопротивления соответственно ветвей 3-6 и 6-2; Q_{3-6} и Q_{6-2} - расходы воздуха в этих же выработках.

Анализ последней формулы показывает, что наличие дополнительной диагонали в-2 приводит к снижению условного сопротивления ветвей 2-3, а это, в свою очередь, снижает критическую тепловую депрессию.

Условное сопротивление ветви 1-4 может быть выражено

$$R_{1-4} = R_{4-6} + R_{6-1} (Q_{6-1} / Q_{4-6}), \quad (4.14)$$

где R_{4-6} и R_{6-1} - сопротивления соответственно ветвей 4-6 и 6-1; Q_{4-6} и Q_{6-1} - расходы воздуха в указанных выше ветвях.

Так как $Q_{6-1} / Q_{4-6} < 1$, то дополнительная диагональ а-б увеличивает условное сопротивление ветви 4-1, что также снижает критическую тепловую депрессию (см. рис. 4.4, б).

Анализируя формулу (4.11), с учетом выражений (4.13) и (4.14) можно прийти к выводу, что наличие дополнительных диагоналей снижает критическую тепловую депрессию. Поэтому для повышения устойчивости следует увеличивать сопротивление дополнительных диагоналей.

Для количественной оценки влияния дополнительных диагоналей на устойчивость были проведены расчеты на ЭВМ, которые показали, что дополнительные диагонали существенно снижают устойчивость. Так, включение в схему диагонали *в-г* снижает устойчивость почти в 2 раза (значение критической депрессии уменьшилось с 182 до 92 Па).

4.3. Примеры применения местного реверсирования при подземных пожарах

На шахте "Южная" ПО "Ростовуголь" возник пожар в конвейерном уклоне № 10 ниже его сопряжения со штреком № 1004 (рис. 4.6). Уклонная панель была подготовлена тремя выработками: конвейерным уклоном № 10, восточным и западным ходами, пройденными по пласту *В*. Общая наклонная длина каждой выработки на момент возникновения аварии составляла 1950 м. Выработки панели уклона № 10 проветривались с помощью вентилятора ВОКЦ2, установленного на западном шурфе № 2. Свежий воздух поступал с поверхности по вспомогательному стволу, квершлагу № 7, коренному штреку № 3 и далее по восточному ходу и уклону № 10 к забою. Исходящая струя выдавалась по западному ходу, уклону № 5 и по западному шурфу к вентилятору. Общий расход воздуха, поступающего в восточный ходок и уклон № 10, составлял 25 м³/с (соответственно 17,4 и 7,6 м³/с). Утечки воздуха со свежей струей в исходящую составляли 6 м³/с или 24% его расхода, поступающего в уклонную панель. Из восточного ходка утечки были направлены в сторону уклона № 10, что подтверждено было фактическими замерами за несколько дней до аварии. Так, в устье восточного ходка расход воздуха составил 17,4 м³/с, а у забоя 12 м³/с. Следовательно, в уклон № 10 уходило 5,4 м³/с воздуха в виде утечек.

Учитывая, что восточный ходок и уклон № 10 разделены в соединяющих их сбойках пожарными и вентиляционными дверьми, а в некоторых - глухими перемычками, указанные выработки планом ликвидации аварий выделены в отдельные позиции. Поэтому на случай возникновения пожара в уклоне № 10 восточный ходок предусматривается в качестве запасного выхода горнорабочих из аварийного участка навстречу свежей струе.

Однако при возникновении пожара в уклоне № 10 режим проветривания, предусмотренный планом ликвидации аварий, оказался нарушенным. Вследствие пожара возникла тепловая депрессия, противонаправленная вентиляционной струе, под воздействием которой резко уменьшилась скорость воздушного потока в уклоне № 10 (этому способствовало такое термодинамическое сопротивление самого очага пожара), а затем вентиляционная струя в уклоне № 10 опрокинулась и продукты горения через приоткрытую дверь в сбойке (штрек № 1004) устремились в восточный ходок навстречу выходившим людям. Опрокидывание струи в уклоне № 10 объясняется следующим.

Максимально возможная депрессия, развиваемая вентилятором в уклоне № 10, составила 227 Па, а тепловая депрессия 253 Па (расчеты выполнялись в соответствии с методикой, изложенной в разд. 2). Даже такого незначительного превышения тепловой депрессии (26 Па) достаточно было, чтобы опрокинуть струю.

Поскольку маршрут выхода людей, предусмотренный планом ликвидации аварий, оказался заполненным продуктами горения, создавалась реальная угроза для жизни людей; так как все выработки уклонной панели оказались загазованными. Необходимо было срочно изменить режим проветривания аварийного участка с целью подачи свежего воздуха по восточному ходку и отвода продуктов горения из уклона № 10 в исходящую шахты. Наиболее целесообразным было осуществить местное реверсирование струи. Для этого в коренном штреке № 3 за обходной выработкой восточного ходка был установлен вентиляционный парус, закрыты двери в сбойке штрека № 1004 и открыты двери в обходной выработке западного ходка (см. рис. 4.6). В результате продукты горения из уклона № 10 были выведены кратчайшим путем в общенисходящую струю уклона № 5, а по восточному ходку навстречу выходившим людям была вновь направлена свежая струя воздуха. Это была основная, а возможно, единственная мера, обеспечившая спасение выходивших из аварийного участка людей.

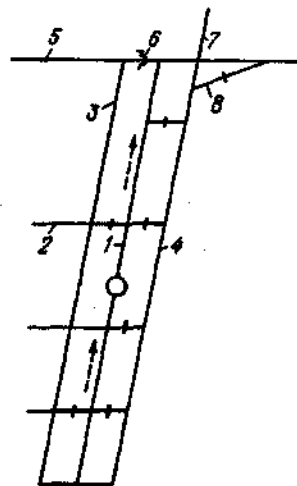


Рис. 4.6. Схема проветривания уклонного поля:
1 - уклон № 10; 2 - штрек № 1004;
3 и 4 - ходки соответственно восточный и западный; 5 - коренной штрек № 3; 6 - парус вентиляционный; 7 - уклон № 5; 8 - обходная выработка западного ходка

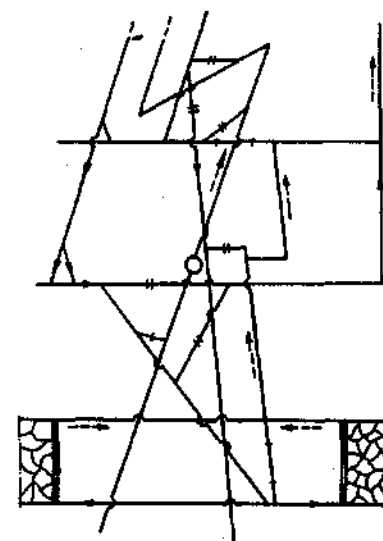


Рис. 4.7. Схема проветривания уклонного поля шахты "Трудовская"

В очень сложных условиях применялось местное реверсирование при пожаре в конвейерном полевом уклоне № 2 шахты "Трудовская" ПО "Донецкуголь" (рис. 4.7). Воздух по аварийному уклону двигался снизу вверх, поэтому возникшая в результате пожара тепловая депрессия действовала в одном направлении с депрессией вентилятора главного проветривания. Величина ее, как показали расчеты, составляла 200-250 Па (по мере развития пожара изменялись длина зоны горения и скорость воздуха). Тушение пожара производилось со стороны свежей струи, однако скоро в местах выгорания крени образовались завалы и поступление воздуха в выработку уменьшилось с 30 до 4,2 м³/с. На устранение непроходимых для горноспасателей завалов требовалось много времени, в то время как пожар распространялся вверх по уклону. Подойти к очагу пожара со стороны исходящей струи было невозможно из-за высокой температуры и сплошной задымленности. Возникла необходимость в реверсировании струи. Однако осуществить опрокидывание струи в аварийной выработке с помощью вентиляторов главного проветривания было нецелесообразно по следующим причинам: после перевода вентиляторов на реверсивную работу все выработки, по которым передвигались горноспасатели и осуществлялась доставка материалов и оборудования для ликвидации аварии, оказались бы заполненными продуктами горения; в реверсивном режиме депрессия шахты уменьшается на 50-70% и оставшейся ее было недостаточно для преодоления тепловой депрессии (согласно расчетам). Поэтому было принято решение о местном реверсировании вентиляционной струи. На ЭВМ был выполнен расчет, цель которого - установить возможность опрокидывания воздушного потока в горящей выработке, а также определить расход воздуха в ней в режиме местного реверсирования. Расчетная схема шахты содержала 320 ветвей. В качестве исходных данных использовались материалы ранее выполненной депрессионной съемки, а недостающая информация была получена расчетным путем. При промежуточной корректировке исходных данных использовались замеры расхода воздуха, выполненные непосредственно в аварийных условиях. Расчеты показали, что после проведения намеченных мероприятий воздушный поток в аварийной выработке изменит свое направление, а расход воздуха составит 2,5 м³/с.

Для осуществления местного реверсирования в восьми выработках были навешены брезентовые перемишки, в четырех - закрыты противопожарные двери, а в девяти - открыты вентиляционные двери. В результате выполнения этих работ воздушный поток в аварийной выработке изменил свое направление, расход воздуха в опрокинутой струе составил 2,6 м³/с. Успешное осуществление местного реверсирования позволило горноспасателям быстро ликвидировать пожар.

Необходимо подчеркнуть, что, учитывая сложность шахтной сети, увеличение сопротивления аварийной выработки вслед-

ствие завалов, противодействие тепловой депрессии, на ЭВМ было рассчитано 11 вариантов местного реверсирования струи и выбран наиболее эффективный. Таким образом, практика подтвердила возможность, оперативность и высокую надежность использования ЭВМ при расчетах вентиляционных режимов в ходе ликвидации аварии.

Характерным примером применения местного реверсирования по условиям тушения пожара может служить шахта "Черкасская" ПО "Луганскуголь". Пожар возник в восточном транспортном штреке гор. 390 м (рис. 4.8). Проветривание лавы нисходящее. В нормальном режиме проветривания расход воздуха в выработках аварийного участка составил 2,8 м³/с. Тушение пожара со стороны вентиляционного хода было затруднено из-за роста температуры в исходящей струе. Со стороны лавы выполнить работы по тушению пожара практически также было невозможно: площадь сечения лавы, не работавшей больше года, местами составляла менее 0,3 м²; по восточному вентиляционному штреку и по лаве не был проложен водопровод. Подача же воды по трубопроводу, проложенному по восточному транспортному штреку, могла в любой момент прекратиться, поскольку он проходил через очаг пожара. Поэтому было принято решение применить местное реверсирование вентиляционной струи. В данных условиях производить общешахтное реверсирование было нецелесообразно, так как после его осуществления были бы загазированы воздухоподающий ствол, выработки околоствольного двора и 1-й восточный групповой откаточный штрек пл. 4.

В нормальных условиях свежий воздух на проветривание восточной лавы пл. 4 поступал с 1-го восточного группового откаточного штрека по 2-му восточному промежуточному квершлагу (участков по схеме 1-2-3, см. рис. 4.8) и вентиляционному штреку 3-4. Отработанный воздух из лавы отводился по восточному транспортному штреку 5-6-7, сбойке 7-10 и стволу.

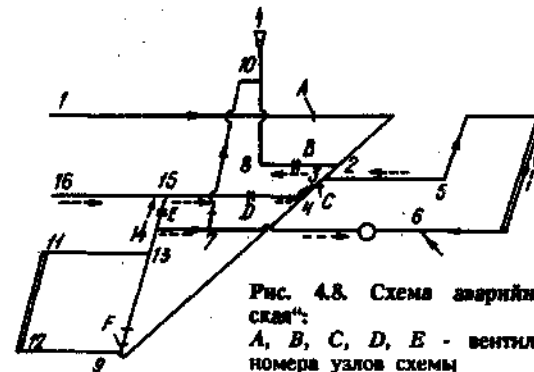


Рис. 4.8. Схема аварийного участка шахты "Черкасская": А, В, С, D, Е - вентиляционные сооружения; 1-16 - номера узлов схемы

Для осуществления местного реверсирования были открыты вентиляционные двери *B* и *E* и установлены брезентовые перемычки *A* и *C*. После выполнения этих мероприятий воздух в восточную лаву пл. *h* стал поступать с 16-го восточного полевого откаточного штрека по цепочке выработок 15-14-7-6-5, а выводится из нее по маршруту 4-3-2'-8-10. На рис. 4.8 направление движения воздуха после местного реверсирования струи показано пунктиром. Расход воздуха в восточном транспортном штреке в районе очага пожара в реверсивном режиме составил 6,3 м³/с, т.е. увеличился более чем в два раза по сравнению с нормальным режимом проветривания. Дальнейший анализ сложившейся обстановки показал, что расход воздуха возрос в результате появления тепловой депрессии. Последняя образовалась в восточной лаве пл. *h* из-за попадания в последнюю нагретого воздуха. Увеличение скорости движения воздуха приводило, в свою очередь, к дальнейшему росту тепловой депрессии. Возникла угроза нарушения устойчивости проветривания.

Предотвратить опрокидывание вентиляционных струй в рассматриваемом случае можно было бы двумя способами:

повышением критической депрессии в соответствии с рекомендациями, приведенными в гл. 2;
снижением тепловой депрессии.

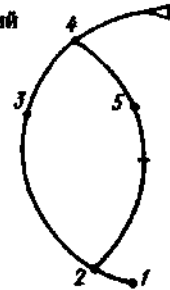
В данных условиях последний путь оказался более простым и надежным. Анализ номограмм (см. рис. 2.7) показал, что если снизить скорость движения воздуха в районе очага пожара в 2-2,5 раза, то в восточную лаву пл. *h* будет поступать почти холодный воздух. Регулирование расхода воздуха в сторону уменьшения производилось путем снижения сопротивления вентиляционных дверей *C*, *D*, *F*. Оптимальный расход воздуха был установлен на уровне 2 м³/с. Положительную роль в охлаждении продуктов горения сыграл также водоразбрызгиватель, установленный на восточном транспортном штреке со стороны лавы.

В результате применения местного реверсирования вентиляционной струи и тем самым создания благоприятных условий для действий горноспасателей авария была успешно ликвидирована в короткий срок.

4.4. Закорачивание вентиляционной струи

Под *закорачиванием* принимают замыкание вентиляционных струй накоротко посредством открывания соответствующих дверей. Основная цель закорачивания - уменьшить расход воздуха, поступающего к очагу пожара, отвести продукты горения на поверхность кратчайшим путем, минуя места, где работают люди, и тем самым создать более благоприятные условия для спасения горнорабочих и тушения пожара. Узловым вопросом режима закорачивания вентиляционных струй и критерием его

Рис 4.9. Упрощенная схема вентиляционных соединений выемочного поля:
1-5 - номера узлов схемы



эффективности является расход воздуха в объекте регулирования, т.е. в выработках выемочного поля за местом закорачивания.

Рассмотрим вентиляционную сеть, представленную на рис. 4.9. Одна из ветвей схемы (2-3-4) представляет собой эквивалент выемочного поля или часть его и является объектом регулирования, другая (2-5-4) - выработку-регулятор, меняя сопротивление которой можно изменить расход воздуха в объекте регулирования. Предположим, что в начальном режиме проветривания расход воздуха, поступающего к параллельному соединению, равен Q_n . Расход воздуха в ветви 2-3-5 определяется по формуле

$$Q_1 = Q_n / (1 + \sqrt{R_1/R_2}), \quad (4.15)$$

где R_1 - аэродинамическое сопротивление ветви 2-3-4; R_2 - то же ветви 2-5-4.

При $R_2 = \infty$ расход воздуха $Q_1 = Q_n$, т.е. весь воздух поступает в объект регулирования.

При закорачивании струи посредством двери, установленной на участке 2-5, сопротивление ветви 2-5-4 уменьшается. Тогда расход воздуха в ветви 2-3-4 составит

$$Q = \varphi Q_n / (1 + \sqrt{R_1/R_{n.з}}), \quad (4.16)$$

где φ - коэффициент, который учитывает изменение расхода воздуха, поступающего к параллельному соединению вследствие закорачивания; $R_{n.з}$ - сопротивление пути закорачивания.

Сопротивление пути закорачивания определяется из выражения

$$R_{n.з} = R_3 + R_4, \quad (4.17)$$

где R_3 - аэродинамическое сопротивление выработки 2-4-5 без учета двери; R_4 - аэродинамическое сопротивление открытой двери или шлюза.

Вентиляционные параметры Q_n , R_1 и R_2 могут быть определены расчетным путем или взяты из материалов депрессионных съемок. Значения φ и R_4 найти аналитическим путем не пред-

ставляется возможным из-за влияния большого числа факторов, не поддающихся учету. Поэтому указанные параметры получены экспериментально.

Экспериментальные исследования режима закорачивания вентиляционных струй, которые проводили на 15 шахтах Донбасса в 39 выемочных полях различных типов, показали, что одним из основных факторов, влияющих на эффективность закорачивания, является сопротивление пути закорачивания. В подавляющем большинстве случаев длина выработки-регулятора не превышает 40-50 м. Поэтому сопротивление пути закорачивания определяется, в основном, сопротивлением открытых дверей.

На шахтах Донбасса в выработках-регуляторах установлены, как правило, две вентиляционные двери (так называемые шлюзы). Рядом с ними дополнительно установлены нормально открытые двери, которые закрываются при реверсировании вентиляционной струи (табл. 4.2).

Т а б л и ц а 4.2

Параметры открытых вентиляционных дверей

Шахта	Место установки дверей	Площадь сечения выработки с установленными дверями, м ²	Площадь сечения проема дверей, м ²	Депрессия, Па	Расход воздуха, м ³ /с	Сопротивление, Н·с ² /м ⁶
<i>"Шахтерскантрацит"</i>						
№ 15	17-й восточный вентиляционный штрек	6	2,2	4,2	13,4	0,24
№ 11	Кроссинг № 13, откаточный пластовый штрек	-	2,24	40	16,2	0,15
<i>"Макеевуголь"</i>						
№ 2 "Колосниковская"	Обходная выработка уклона	6,2	4,07	11	9,8	0,11
	Обходная выработка (с двумя поворотами)	6,2	2,72	60	9,9	0,61
	Сбойка на 5-й южный вентиляционный штрек	3	0,98	300	9,9	3,06
	Обходная выработка центрального уклона	5,3	4,27	8,5	14,3	0,04
		3,5	1,25	82	7,6	1,41
	3,8	11,1	74	6,6	1,7	

Продолжение табл. 4.2

Шахта	Место установки дверей	Площадь сечения выработки с установленными дверями, м ²	Площадь сечения проема дверей, м ²	Депрессия, Па	Расход воздуха, м ³ /с	Сопротивление, Н·с ² /м ⁶	
Им. Бажанова	Сбойка на ходок бремсберга	4,6	1,09	8	1,96	2,09	
	Сбойка на бремсберг	4	1,22	24	6,05	0,66	
	Заданное крыло, гор. 1012 м	4,5	2,84	26	13,7	0,14	
	Восточное крыло, гор. 898 м	4,5	2,81	27	13,7	0,14	
	16-й западный откаточный штрек	6,9	3,65	53	21,6	0,11	
	Сбойка с восточным конвейерным уклоном	7	3,36	74	20,5	0,18	
	Кроссинг западного уклона	3	1,75	238	20,6	0,55	
	Кроссинг западного вспомогательного уклона	5,1	2,53	2	12	0,14	
	Западный пластовый штрек	4	0,89	5	1,43	2,44	
	9-й восточный вентиляционный штрек	-	1,48	28	7,8	0,46	
№ 21	Кроссинг западного уклона	-	1,02	132	11,5	0,99	
	Кроссинг западного вспомогательного уклона	-	1,16	164	20,7	0,38	
	Западный пластовый штрек	-	1,63	206	18,5	0,6	
	9-й восточный вентиляционный штрек	11	22,28	220	23,8	0,39	
	Вентиляционный ходок западного уклона	4,5	1,21	42	5,8	1,21	
	<i>"Макеевуголь"</i>						
	№ 21	Вентиляционный ходок западного уклона	7,4	3,75	9	18	0,03
	Сбойка на вентиляционный ходок	6	2,62	93	17,6	0,3	
	Сбойка на уклон	4,5	1,87	118	16	0,46	
	Вентиляционный ходок	5	2,4	30	11,6	0,23	
Бремсберг	-	1,16	84	8,2	1,25		
Сбойка на бремсберг	10,8	2,62	3	6,36	0,07		
	8	1,68	6	4,36	0,32		
<i>"Стахановуголь"</i>							
Им. Ильича	Уклон № 1	7	1,36	24	5,33	0,84	
		7	3,94	85	7,8	0,15	
<i>"Красноармейскуголь"</i>							
№ 1 "Родниковская"	Кроссинг ходка № 1	-	2,56	7	6,2	0,18	

Значения коэффициента φ

Производственное объединение, шахта	Панель	Расход воздуха		φ
		нормальный	при закорачивании	
"Шахтерскантрацит", № 15	Уклонная	48,2	54	1,2
№ 21	Уклонная	23,7	31,3	1,32
		23,2	30,2	1,3
		17,1	18,6	1,08
		16,9	19,7	1,16
№ 2 "Колосниковская"	Уклонная	31	38,2	1,05
		16,5	18,8	1,2
		29,3	30,9	1,05
		22	23	1,05
им. Бажанова	Лавы по вос- станнию - паде- нию	31	38,5	1,24
		53	64,5	1,21
		49,5	56,5	1,14
		32,2	32,2	1,01
№ 1-2 "Доброполье", "Красноармейскуголь"	Уклонная	18	18,1	1,01
		11,2	12,9	1,15
		17,2	19,5	1,13
		20,1	23,5	1,17
		8,4	9,3	1,11
		20	22	1,1

среднем составляет $0,99 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ в уклонных полях и $0,77 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ в бремсберговых. Примерно 54% уклонных полей обладает сопротивлением до $1 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$, а более 50% бремсберговых полей - до $0,5 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$. Максимальное сопротивление их не превышает соответственно 4 и $3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$. Среднее сопротивление пути закорачивания составляет $0,69$, а максимальное - $3,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ (см. рис. 4.10).

Как видно, сопротивления рассмотренных выемочных полей и пути закорачивания соизмеримы между собой. При равенстве этих сопротивлений расход воздуха в объекте регулирования уменьшается наполовину, а при $R_1/R_n < 1$ эффективность закорачивания будет еще ниже. Поэтому с целью повышения эффективности закорачивания вентиляционных струй необходимо стремиться к уменьшению сопротивления пути закорачивания.

Результаты экспериментальных исследований влияния закорачивания на распределение воздуха в выработках наиболее распространенных типов выемочных полей показали, что все выработки выемочного поля, в зависимости от влияния закорачивания на расход воздуха в них, можно разделить на три основные группы: выработки, расположенные до места закорачивания; выработки-регуляторы, т.е. пути закорачивания; выработки, расположенные за местом закорачивания. Из вы-

Из табл. 4.2 видно, что сопротивление дверей изменяется в широких пределах. При площади сечений дверных проемов $0,7-4,2 \text{ м}^2$ их сопротивление изменялось от $3,8$ до $0,03 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$. Среднее сопротивление дверных проемов составило $0,69 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$.

Зависимость между площадью сечений дверных проемов и их аэродинамическим сопротивлением удовлетворительно описывается следующим выражением (при коэффициенте корреляции $0,82$):

$$R_d = 1,8/S^{2,5} \quad (4.18)$$

В графическом виде эта зависимость представлена на рис. 4.10.

Увеличение общего расхода воздуха, который поступает к выемочному полю при закорачивании вентиляционной струи, отражается коэффициентом φ , представляющим собой отношение измененного расхода воздуха к первоначальному. Согласно проведенным экспериментам (табл. 4.3), коэффициент φ изменяется от $1,01$ до $1,32$. Среднее значение этого коэффициента φ составляет $1,14$. На его величину решающее влияние оказывает сопротивление пути закорачивания, зависящее, в свою очередь, от площади сечения дверных проемов S . Поэтому для практических целей рекомендуется принимать следующие значения коэффициента φ :

$S, \text{ м}^2$	1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-4	>4
φ	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35

Практика применения закорачивания показала, что в некоторых случаях оно неэффективно. Рассмотрим причины этого явления.

Из формулы (4.16) видно, что расход воздуха в объекте регулирования (выемочное поле) зависит от соотношения сопротивления самого объекта регулирования к пути закорачивания. В результате анализа вентиляционных сетей 101 шахты установлено, что сопротивление объектов регулирования в

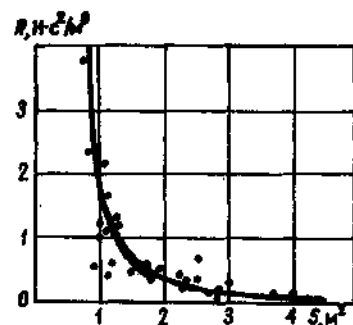


Рис. 4.10. Зависимость аэродинамического сопротивления R дверных проемов от их площади сечения S

работок последней группы в отдельную подгруппу выделены очистные забои.

Экспериментально установлено, что в выработках первой группы расход воздуха при закорачивании вентиляционной струи максимально увеличивался в 1,32 раза, а в среднем - в 1,14 раза. Однако в 29% случаев расход воздуха практически не изменялся.

В выработках-регуляторах происходило, как правило, резкое увеличение расхода воздуха, в среднем в 13,2 раза (максимально в 103 раза).

В выработках третьей группы расход воздуха изменялся в очень широких пределах. В отдельных случаях движение воздуха полностью прекращалось, в 10% случаев наблюдалось изменение направления его движения, а примерно в 85% - уменьшение расхода воздуха в среднем в 1,7 раза.

В очистных забоях наблюдалось меньшее изменение расхода воздуха при закорачивании, чем в целом по третьей группе. Достаточно сказать, что ни в одном забое не прекращалось движение воздуха и не изменялось направление струи. Расход воздуха уменьшался не более чем в 5 раз. В 38% всех случаев расход воздуха уменьшался всего на 20-40%. Установлено также, что чем ближе выработка-регулятор к выемочному участку, тем больше степень изменения расхода воздуха в очистном забое, т.е. тем эффективнее режим закорачивания.

4.5. Влияние закорачивания на устойчивость проветривания уклонных полей

Рассмотрим влияние закорачивания струй на устойчивость проветривания выработок на примере уклонного поля. Уклонные поля обычно имеют одну или несколько наклонных воздухоподающих выработок с нисходящей струей. В первом случае при пожаре в уклоне 3-7 (рис. 4.11) опрокидывание струи под действием тепловой депрессии приводит к изменению направления движения воздуха во всех выработках уклонного поля. Поэтому при исследовании влияния закорачивания на устойчивость проветривания следует рассматривать все уклонные поля, а не одну аварийную выработку. Режим проветривания уклонного поля в этом случае определяется пересечением напорной характеристики условного вентилятора (кривая 1) и аэродинамической характеристики сети (кривая 2) в точке А (рис. 4.12). Координаты этой точки h_1 и Q_1 соответствуют значениям депрессии и расхода воздуха. Опрокидывание струи может наступить лишь в том случае, если тепловая депрессия превысит величину H_0 .

Закорачивание вентиляционной струи внутри уклонного поля ниже очага пожара путем открывания двери на участок 6-8 приводит к изменению аэродинамической характеристики сети

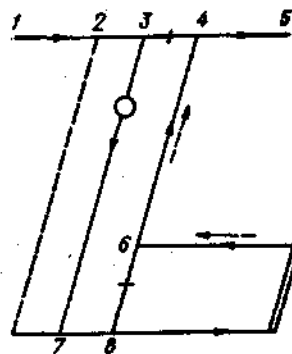


Рис. 4.11. Схема уклонного поля:
1-8 - номера узлов схемы

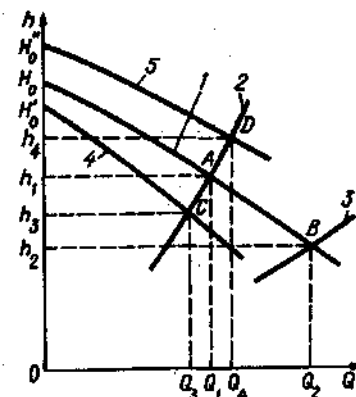


Рис. 4.12. График к определению влияния закорачивания вентиляционной струи на устойчивость проветривания наклонной выработки при пожаре

(кривая 3), а следовательно, и к изменению режима проветривания уклонного поля. Новый режим проветривания определяется координатами h_2 и Q_2 точки В. Как видно, точка, характеризующая режим проветривания уклонного поля, при закорачивании перемещается вниз по напорной характеристике вентилятора. Этот процесс сопровождается увеличением расхода воздуха и снижением депрессии. Однако устойчивость проветривания уклонного поля не изменяется, поскольку опрокидывание струи произойдет при одном и том же значении тепловой депрессии, равном H_0 , независимо от того, произведено закорачивание или нет.

Закорачивание струи до очага пожара (открывание двери на участке 3-4) вызывает изменение напорной характеристики вентилятора (кривая 4). Режим проветривания уклонного поля будет характеризоваться координатами h_3 и Q_3 точки С, а опрокидывание струи под действием тепловой депрессии произойдет при ее значении, равном H_0 . Поскольку $H_0 < H_0$, устойчивость проветривания уклонного поля после закорачивания снижается.

При двух наклонных выработках с нисходящей струей (на рис. 4.11 вторая выработка показана пунктирной линией) опрокидывание воздушного потока может произойти только в уклоне 3-7, а во всех остальных выработках направление струи не изменится. В этом случае следует пользоваться напорной характеристикой лишь аварийной выработки. Если воспользоваться для анализа рис. 4.12, то в данном случае кривой 1 на нем будет изображена напорная характеристика уклона 3-7, а кривой 4 - его аэродинамическая характеристика. Режим

проветривания уклона 3-7 в нормальном режиме характеризуется координатами h_3 и Q_3 точки А, лежащей на пересечении указанных характеристик. Под действием противоположно направленной тепловой депрессии режим проветривания уклона 3-7 будет перемещаться по напорной характеристике вверх, а опрокидывание вентиляционной струи в уклоне произойдет в том случае, если значение тепловой депрессии станет больше значения параметра. Если же сопротивление уклона 3-7 уменьшится, то расход воздуха в нем увеличится до значения Q_3 , а новый режим проветривания на рис. 4.12 изобразится точкой В. По мере роста тепловой депрессии режим проветривания уклона будет перемещаться, как и в предыдущем случае, по характеристике 1, а опрокидывание воздушного потока произойдет, если тепловая депрессия станет больше H_0 .

Закорачивание вентиляционной струи до очага пожара (через выработку 3-4) приведет к изменению напорной характеристики уклона 3-7. На рис. 4.12 новая напорная характеристика изображена кривой 4. Режим проветривания уклона будет характеризоваться координатами h_3' и Q_3' точки С, а опрокидывание струи произойдет за счет повышения тепловой депрессией значения H_0' . Так как $H_0' < H_0$, устойчивость проветривания аварийного уклона при закорачивании снижается. Если закоротить вентиляционную струю ниже очага пожара через выработку 6-8, то режим проветривания аварийной выработки станет иным в силу изменения ее напорной характеристики. Аэродинамическая характеристика уклона 3-7 останется прежней, а новый режим ее проветривания определится точкой D с координатами h_4 и Q_4 . Теперь опрокидывание струи может произойти только в том случае, если тепловая депрессия по своей величине превысит значение H_0 . Однако $H_0'' > H_0$, следовательно, закорачивание вентиляционной струи ниже очага пожара приводит к повышению устойчивости проветривания аварийной выработки.

Таким образом, можно сделать вывод, что закорачивание струи до очага пожара во всех случаях снижает устойчивость проветривания уклонных полей, а за очагом пожара приводит к повышению устойчивости проветривания только в уклонных полях с несколькими воздухоподающими наклонными выработками.

5. ОСТАНОВКА ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

После остановки вентилятора главного проветривания движение воздуха по горным выработкам шахты осуществляется под действием естественной тяги.

Основные преимущества режима проветривания, называемого

иногда "нулевым" режимом вентиляции, заключаются в замедлении распространения продуктов горения по выработкам шахты и в снижении расхода воздуха, поступающего к очагу пожара, а следовательно, и интенсивности развития пожара.

При применении нулевого режима проветривания следует учитывать: величину и направление естественной тяги, характер формирования естественной тяги в отдельных частях шахты, газообильность шахты и возможность образования опасных концентраций метана в горных выработках, возможность образования тепловой депрессии пожара, а также направление ее действия, опрокидывание отдельных вентиляционных струй на период выравнивания давления воздуха в шахте относительно дневной поверхности.

5.1. Особенности формирования естественной тяги в шахте

Естественная тяга возникает вследствие различной плотности воздуха в горных выработках. Как и депрессия вентилятора, ее величина измеряется в паскалях.

Депрессия естественной тяги зависит, главным образом, от глубины шахты и разности температур воздуха в воздухоподающих и воздуховыдающих выработках. Поскольку температура воздуха на поверхности не остается постоянной, то наблюдаются суточные и годовые изменения естественной тяги. В зависимости от характера изменений естественной тяги угольные шахты можно разделить на следующие группы.

1. Мелкие (глубиной до 100 м), величина естественной тяги на которых невелика и обычно не превышает 20-30 Па. Направление действия естественной тяги на таких шахтах может изменяться даже в течение одних суток. После остановки вентилятора главного проветривания скорость движения воздуха в горных выработках уменьшается в 8-10 раз и более. Максимальное значение естественной тяги (по абсолютной величине) на шахтах этой группы может наблюдаться как в холодное, так и в теплое время года.

2. Средней глубины (100-500 м), на которых направление естественной тяги может изменяться в течение года. Максимальное значение ее наблюдается в холодное время года. В этот период времени после остановки вентилятора главного проветривания скорость движения воздуха в горных выработках уменьшается обычно в 2-4 раза.

3. Глубокие (глубиной свыше 500 м), на которых естественная тяга шахты всегда положительна, т.е. в течение всего года помогает работе вентилятора главного проветривания. Максимальное значение естественной тяги на таких шахтах наблюдается также в холодное время года. В этот период остановка вентилятора главного проветривания может приводить к небольшому изменению скорости движения воздуха. В от-

дельных экспериментах зафиксировано уменьшение скорости лишь на 20-30%.

Основным фактором, определяющим величину естественной тяги в холодное время года на шахтах второй и, особенно, третьей группы, является глубина шахты. Во-первых, это связано с тем, что температура воздуха, поступающего в шахту, изменяется в узких пределах вследствие его подогрева. Во-вторых, температура исходящих струй определяется, главным образом, температурой вмещающих пород, которая возрастает с увеличением глубины шахты.

На основании обработки результатов депрессионных съемок, выполненных на угольных шахтах, получена следующая зависимость для оценки максимально возможной величины естественной тяги, Па,

$$h_{e.t} = 0,0012z^2, \quad (5.1)$$

где z - глубина шахты, м.

Зависимость (5.1) следует рассматривать как ориентировочную, поскольку в ней не учитывается ряд других факторов (распределение воздуха в сети, время года и др.).

Естественная тяга шахты для конкретных условий может быть определена опытным или расчетным путем. В первом случае в выработке, по которой проходит весь воздух шахты, устанавливают перемычку и с помощью микроманометра или депрессометра измеряют депрессию. Наиболее точные результаты получаются при хорошей герметичности перемычки. Если достигнуть хорошей изоляции не удастся, то величину естественной тяги вычисляют по формуле

$$h_{e.t} = h_{зм} + R_{зм}Q^2, \quad (5.2)$$

где $h_{зм}$ - замеренная депрессия перемычки, Па; $R_{зм}$ - аэродинамическое сопротивление шахтной сети (принимают из результатов депрессионной съемки), $H \cdot c^2/m^2$; Q - общий расход воздуха в шахте после сооружения перемычки, m^3/c .

Рассмотренный способ определения естественной тяги применяют редко из-за трудности перекрытия главных воздухоподающих или воздуховыдающих выработок.

Расчет депрессии естественной тяги может быть выполнен по гидростатическому или гидродинамическому методу. При выборе аварийных вентиляционных режимов рекомендуется применять гидродинамический способ, который обладает наглядностью и позволяет более правильно учесть влияние контурных естественных тяг. Сущность способа заключается в следующем. Выбирается маршрут, совпадающий с направлением движения воздуха и проходящий через аварийный участок и один из очистных забоев. По этому маршруту намечается ряд характерных пунктов, совпадающих с началами и концами выработок. Если разность высотных отметок между началом и концом какой-либо выработки более 100 м, то намечаются промежуточные пункты,

отстоящие друг от друга по вертикали на 50-100 м. В каждом пункте маршрута измеряют температуру воздуха. Затем вычисляют, пользуясь маркшейдерскими данными, расстояние от горизонтальной плоскости, проходящей через устье ствола, до каждого пункта. Расположение замерных пунктов приведено на рис. 5.1. По полученным данным строят диаграмму изменения температуры воздуха по выбранному маршруту. При ее построении по горизонтальной оси откладывают температуру воздуха (рис. 5.1), а по вертикальной - глубину. Из диаграммы видно, что температура воздуха, поступающего в шахту, равна $2^{\circ}C$ (точка a), на глубине 100 м (точка b) она возрастает до $5^{\circ}C$, а в конце воздухоподающего ствола (точка z) температура воздуха составляет $7,5^{\circ}C$. При перемещении воздуха по горизонтальной выработке из пункта z в пункт d происходит его нагревание до температуры $17,5^{\circ}C$. Температура воздуха при входе в лаву (точка e) составляет $20^{\circ}C$, при выходе (точка u) $23^{\circ}C$.

Естественная тяга пропорциональна площади диаграммы и определяется по формуле

$$h_{e.t} = 1,2S / (273 + t_u), \quad (5.3)$$

где S - площадь диаграммы, t_u - температура центра тяжести площади диаграммы, $^{\circ}C$.

Если устья воздухоподающей и воздуховыдающей выработок имеют разные высотные отметки, то горизонтальная плоскость совмещается с тем устьем, которое расположено выше. В этом случае диаграмма замыкается через атмосферу. Температура воздуха на участке, расположенном между нижним устьем и горизонтальной плоскостью, равна температуре воздуха на поверхности.

Анализ вентиляционных сетей показал, что естественная

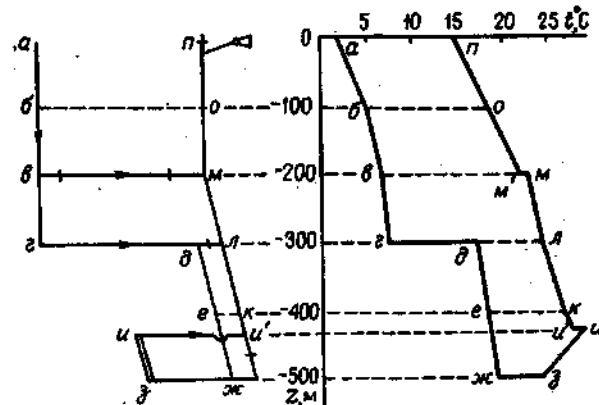


Рис. 5.1. Схема к определению естественной тяги термодинамическим методом

Результаты измерений естественной тяги

Время наблюдения	Температура воздуха на поверхности, С	Естественная тяга, Па		
		шахты в целом	внешней части схемы	внутренней части схемы
Январь	-5	295	240	55
Март	+10	142	89	53
Май	+23	65	13	52
Июль	+28	40	-10	50

Т а б л и ц а 5.2

Характеристика естественной тяги лавы

Шахта	Время за- мера	Маршрут замера	Выемочное поле	Глубина, м	Естественная тяга, Па	
					Общая (шахты)	панели
№ 2 "Колосниковская" Им. Орджоникидзе	Июль	Через 2-ю северную лаву, пл. h_1 Через 6-ю южную лаву, пл. h_2 Через 6-ю северную лаву, пл. h_3 Через 1-ю южную лаву, пл. h_4 Через 2-ю восточную лаву, пл. h_5 Через западную лаву Через западную лаву	Уклонное	242	-4,1	+1,5
				324	-46,8	+1,2
				323	-21,4	-0,1
				188	-45	+28
				600	+179	+69
				760	+35	+42
		440	+15	+7		
№ 1 - 6	Апрель	Через 10-ю восточную лаву Через 9-ю западную лаву	Уклонное	620	+191	+46
				580	+151	+37
ПО "Магелевуголь"						
№ 2 - 2-бис	Апрель	Через 13-ю восточную лаву Через 13-ю западную лаву	Уклонное	700	+171	+60
				700	+282	+72
ПО "Красноармейскуголь"						
№ 1 - 2 "Доброполье" "Украина"	Январь	Через 7-ю восточную лаву Через 2-ю южную лаву, пл. h_3 Через 3-ю северную лаву, пл. h_4 Через 4-ю северную лаву Через южную лаву	Уклонное нижнее Бремсбертовое Бремсбертовое	565	+66,2	+11,5
				200	+77	+9,5
				420	+21	+21
				210	+10,8	+7
				210	+10,6	+1,5
ПО "Донецкуголь"						
"Мушкетерская-Верти- кальная"	Сентябрь	Через 4-ю восточную лаву, пл. h_7 Через 1-ю западную лаву, пл. h_8	Уклонное	310	-19,2	+7
				210	-30	+1,5
"Глубокая"	Июнь	Через 1-ю западную лаву, пл. h_{10}	Уклонное	550	+18,6	+6,5
				ПО "Торезагпроцэнт"		
№ 27	Январь	Через 22-ю восточную лаву Через 23-ю западную лаву Через 12-ю восточную лаву, пл. h_2 Через 12-ю восточную лаву, пл. h_3 Через 4-ю южную лаву, пл. h_4 Через 5-ю южную лаву, пл. h_5 Через 6-ю южную лаву, пл. h_6 Через 7-ю западную лаву Через 8-ю восточную лаву Через 5-ю западную лаву Через 5-ю западную лаву Через 4-ю восточную лаву	Уклонное Бремсбертовое Уклонное Уклонное Уклонное Уклонное Уклонное Уклонное Уклонное Уклонное Уклонное	550	+294	+12
				575	+295	+17
				105	-11,5	-3
				203	-85	-40
				305	-80,5	+4
				170	-7,6	+4,5
				360	-80,6	+5,4
				585	+93,5	+8,5
				620	+81	+13
				560	+287	+17
				560	+139	+45
				340	-27,4	+5
ПО "Орджоникидзеуголь"						
№ 9	Июль	Через гор. 716 м	Уклонное	716	+239	+31
"Юнком"	Январь	Через лаву № 81 гор. 740 м	Уклонное	740	+243	+35

тяга шахты включает естественную тягу отдельного выемочного поля (внутренняя часть схемы) и естественную тягу, приходящуюся на остальную часть шахтной сети (внешняя часть схемы). Величина последней формируется, в основном, в стволах и резко изменяется в течение года. При этом изменяется не только ее величина, но и направление. Естественная тяга выемочных полей в течение года изменяется незначительно. На шахтах глубиной свыше 100 м в течение года она остается, как правило, положительной. В табл. 5.1 приведены результаты наблюдений на шахте "Ново-Бутовка" ПО "Макеевуголь".

Как видно из табл. 5.1, с января по июль естественная тяга шахты уменьшилась в 7,4 раза, в то же время естественная тяга внутренней шахты (уклонного поля) уменьшилась всего на 10%.

Количественная оценка естественной тяги шахт и выемочных полей приведена в табл. 5.2.

Из табл. 5.2 видно, что естественная тяга выемочного поля может действовать в одном направлении с общешахтной естественной тягой или в противоположном. Первый случай соответствует холодному времени года, а второй, как правило, - тепловому. В летнее время естественные тяги выемочного поля и общешахтная также могут быть сонаправлены, но при этом имеют отрицательный знак. Соотношение естественных тяг по величине может быть самым различным. Например, на шахте № 2 "Колосниковская" естественная тяга выемочного поля (по маршруту через 6-ю северную лаву пл. k_1) составляла 0,4% общешахтной естественной тяги, а на шахте № 32 "Вентиляционная" - в 1,2 раза превышает естественную тягу всей шахты (естественная тяга уклонного поля составляла 94 Па, а шахты 81 Па).

5.2. Влияние естественной тяги на проветривание шахты

Рассмотрим возможные режимы проветривания выемочных полей при остановке вентиляторов главного проветривания. В этом случае напорная характеристика выемочного поля (кривая 1, рис. 5.2) определяется естественной тягой внешней части схемы. Если естественная тяга в выемочном поле отсутствует, то режим его проветривания представлен координатами точки А (h_1, Q_1), лежащей на пересечении напорной характеристики выемочного поля и аэродинамической характеристики сети (кривая 2).

В случае однонаправленного действия тепловых депрессий внешней и внутренней частей схемы режим проветривания выемочного поля будет характеризоваться координатами точки В (h_2, Q_2). Разность $Q_2 - Q_1$ составляет прибавку воздуха в выемочном поле за счет действия в нем естественной тяги.

В том случае, когда естественная тяга выемочного поля $h_{e.n} = RQ_0^2$ (где Q_0 - максимально возможной расход воздуха во

внешней сети, m^3/c), режим проветривания выемочного поля будет определяться положением точки С.

При $h_{e.n} > RQ_0^2$ режим проветривания выемочного поля будет представлен координатами точки D с расходом воздуха Q_2 . В этом случае в выработках выемочного поля возможна рециркуляция газозадушной смеси и тогда все выработки окажутся заполненными продуктами горения. Совершенно очевидно, что при пожаре в наклонной выработке с восходящей струей воздуха тепловая депрессия пожара ускорит наступление этого процесса.

При различном направлении действия естественных тяг внешней и внутренней части схемы возможны следующие их соотношения:

$$h_{e.n} = h_{e.ш}; h_{e.n} < h_{e.ш}; h_{e.n} > h_{e.ш}.$$

В первом случае (см. рис. 5.2) режим проветривания выемочного поля будет определяться координатами точки E с расходом воздуха Q_1 . Как видно, естественная тяга выемочного поля приводит к снижению расхода воздуха, поступающего для его проветривания. При равенстве естественных тяг (режим, характеризуемый положением точки K) поступление воздуха в выработки выемочного поля прекратится. Если же естественная тяга выемочного поля превысит естественную тягу шахты (режим проветривания, представленный координатами точки L), вентиляционная струя во всех выработках выемочного поля опрокинется. Это приведет не только к рециркуляции воздуха в выработках выемочного поля, но и к поступлению продуктов горения на другие участки шахты. Тепловая депрессия пожара в случае его возникновения в выработке с нисходящей струей ускорит наступление этого момента.

Таким образом, при остановке вентилятора главного проветривания в выработках выемочных полей возможно уменьшение

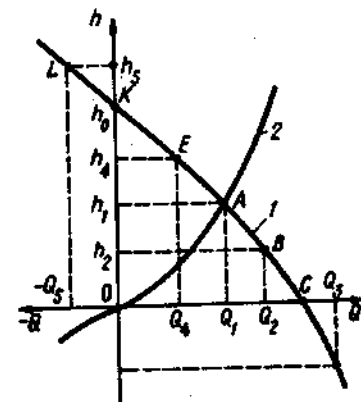


Рис. 5.2. Графики изменения режима проветривания выемочного поля при остановке вентилятора главного проветривания

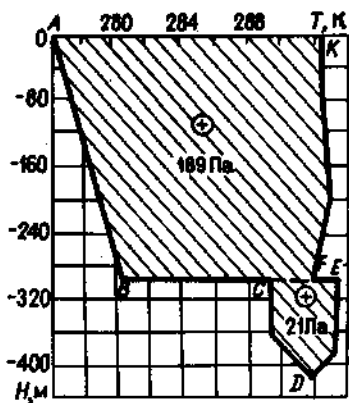


Рис. 5.3. Диаграмма естественной тяги шахты № 1-2 "Доброполье"

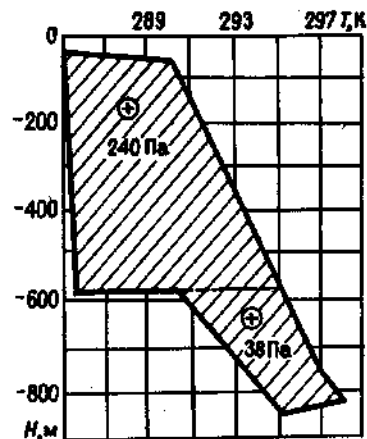


Рис. 5.4. Диаграмма естественной тяги шахты № 15

расхода воздуха, прекращение его движения и изменение направления вентиляционных струй даже без появления дополнительного источника тяги, каким является тепловая депрессия пожара. Режимы проветривания выработок выемочных полей зависят от соотношения естественных тяг шахты и выемочно-го поля.

Рассмотрим примеры соотношения естественных тяг шахты и выемочного поля в зависимости от времени года и проанализируем условия проветривания выработок.

Шахта № 1-2 "Доброполье". Результаты измерений температуры, проведенных в январе, через южный панельный уклон пл. h_3 представлены на рис. 5.3. Как видно из рисунка, естественная тяга в стволах определится площадью фигуры $ABFK$ и равняется 189 Па, а естественная тяга уклонного поля - площадью фигуры CDE и равна 21 Па.

Напорная характеристика уклонного поля при остановке вентилятора будет формироваться в общем случае естественной тягой стволов. Поскольку естественная тяга уклонного поля положительна и действует в одном направлении с естественной тягой стволов, она будет способствовать увеличению расхода воздуха в выработках уклонного поля, т.е. режим проветривания его переместится вниз по напорной характеристике, например, из точки A в точку B (см. рис. 5.2). Чем больше естественная тяга уклонного поля, тем большее влияние она оказывает на увеличение расхода воздуха. Таким образом, воздух в выработках шахты перераспределяется непропорционально расходу воздуха под действием общешахтной естественной тяги. Это положение подтверждается результатами проведенных экспериментов.

В качестве примера рассмотрим результаты наблюдений при остановке вентилятора главного проветривания на шахте № 15. Естественная тяга в стволах составила 240 Па, в уклонном поле 38 Па (рис. 5.4). Под действием естественной тяги в шахту поступало $12,7 \text{ м}^3/\text{с}$ воздуха, что составило 27% нормального расхода. В то же время в уклонном поле расход воздуха составил 40% нормального расхода, что объясняется действием естественной тяги самого уклонного поля. На других шахтах наблюдалась аналогичная картина. Описанные случаи характерны для холодного времени года и для шахт большой глубины, где естественная тяга в стволах всегда положительна.

Шахта "Глубокая". Результаты температурной съемки через 1-ю западную лаву пласта h_{10} , проведенной в июне, представлены на рис. 5.5. Из рисунка видно, что естественная тяга в стволе до глубины 250 м имеет отрицательное значение, равное 22 Па, а ниже, до глубины 500 м - положительное значение, равное 23 Па. Поэтому общая естественная тяга ствола положительная и равняется 1 Па.

Естественная тяга уклонного поля равняется 6,5 Па. Поскольку естественная тяга уклонного поля в несколько раз превышает естественную тягу ствола, режим проветривания может изменяться и характеризоваться координатами уклонного поля точки D (см. рис. 5.2). Это свидетельствует о рециркуляции воздуха в выработках уклонного поля.

Поскольку свежие и исходящие струи изолированы друг от друга, рециркуляция воздуха, как правило, осуществляется посредством опрокинутых утечек через изолирующие сооружения

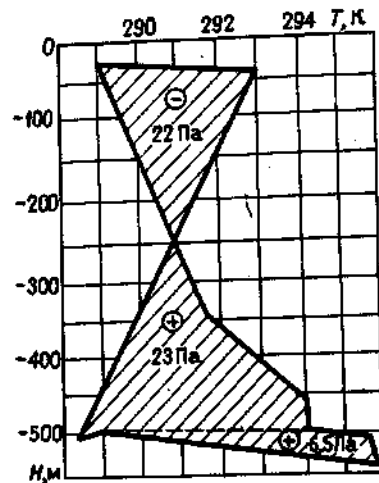


Рис. 5.5. Диаграмма естественной тяги шахты "Глубокая"

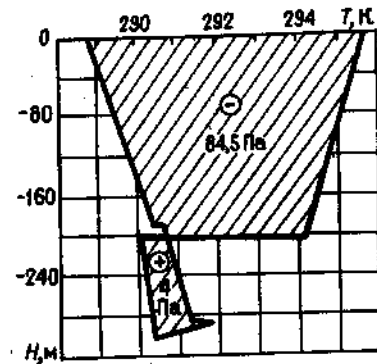


Рис. 5.6. Диаграмма естественной тяги шахты "Ремовская-Восточная"

(кроссинги, шлюзы, вентиляционные двери, перемычки и др.). Так как утечки обычно рассредоточены, это явление трудно обнаружить путем непосредственных замеров воздуха. Однако замеру подлежат перепады давлений между свежей и исходящей струями, по которым можно судить о наличии рециркуляции воздуха. Экспериментальные исследования, проведенные на шахте № 27, показали следующее. Депрессия в стволах при остановке вентилятора составила 40 Па, а в уклонном поле - 79 Па. Обе естественные тяги действуют в одном направлении. Расход воздуха в уклонном поле составил $11,7 \text{ м}^3/\text{с}$, из них $0,84 \text{ м}^3/\text{с}$ (7,2%) посредством опрокинутых утечек направлялось с исходящей струей в свежую. Перепад давлений между свежей и исходящей струями достигал 80 Па.

Этот случай характерен для глубоких шахт в летний период года, для неглубоких - весенний и осенний.

Шахта "Ремовская-Восточная". Результаты температурной съемки через 4-ю южную лаву пл. h_3 , проведенной в июле, представлены на рис. 5.6. Естественная тяга в стволе составляла -84,5 Па, а в уклонном поле +4 Па. Поскольку естественная тяга уклонного поля противоположно направлена естественной тяге в стволе, действие ее приводит к уменьшению расхода воздуха, поступающего в уклонное поле; режим проветривания последнего будет характеризоваться, например, положением точки *E* (см. рис. 5.2). Увеличение естественной тяги уклонного поля будет способствовать дальнейшему сокращению расхода воздуха.

Шахта № 32 "Вентиляционная". Результаты температурной съемки через 7-ю восточную лаву представлены на рис. 5.7. Как видно из рисунка, естественная тяга в стволе составляла -13 Па, а в уклонном поле +79,2 Па. Такое положение будет способствовать режиму проветривания, представленному точкой *L* (см. рис. 5.2). Это значит, что во всех выработках уклонного поля будет происходить рециркуляция воздуха.

Последние два примера характерны для летнего периода года.

Описанные режимы проветривания при остановке главного вентилятора могут возникать в любой части шахтной сети, а не только в отдельно взятом выемочном поле.

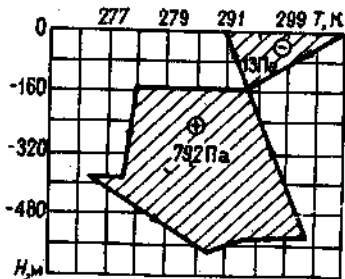


Рис. 5.7. Диаграмма естественной тяги шахты № 32 "Вентиляционная"

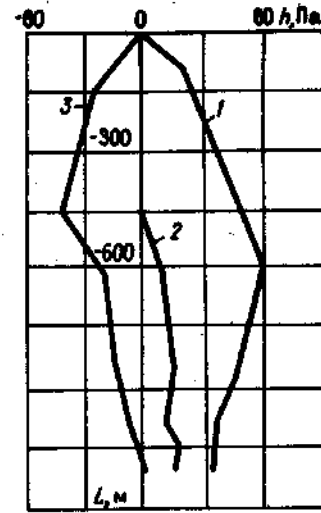


Рис. 5.8. Графики уменьшения перепадов давлений между наклонными стволами при остановке вентиляторов в различные периоды года

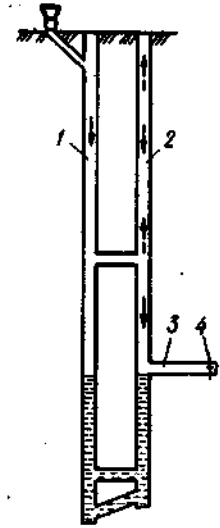


Рис. 5.9. Схема аварийного участка шахты "Чайкино-Глубокая" № 2

На рис. 5.8 приведено изменение перепадов давлений между свежей и исходящей струями на различных расстояниях от устьев стволов (шахта № 27 ПО "Торезантрацит"). Кривая 1 соответствует значению естественной тяги 294 Па. В этом случае перепады давления по длине стволов положительны, следовательно, утечки воздуха направлены со свежей струей в исходящую. Кривая 2 соответствует периоду, когда вследствие увеличения температуры поступающего в шахту воздуха депрессия естественной тяги уменьшалась до 183 Па. Как видно из рисунка, давления в верхней части стволов уравнилась, в нижней части перепад давлений остался положительным. Кривая 3 характеризует изменение перепадов давлений между стволами при величине естественной тяги 119 Па. В этом случае перепады давлений по всей длине стволов стали отрицательными. Это свидетельствует об опрокидывании утечек воздуха между стволами, т.е. изменение их направления с исходящей струи в свежую, и, таким образом, рециркуляции воздуха в шахтной сети. При возникновении пожара в какой-либо выработке выемочного поля вся шахтная сеть окажется заполненной продуктами горения. Если же пожар возникнет в наклонной выработке, то образующаяся тепловая депрессия только усугубит положение.

Как видим, в шахтной вентиляционной сети действуют контурные естественной тяги. При работающем вентиляторе глав-

Результаты замеров содержания метана

Расстояние точек отбора от нижнего полка, м	Содержание метана, %, в пробах, взятых		
	со стороны кабельного канала	со стороны, противоположной кабельному каналу	в центре поперечного сечения ствола
На уровне полка	2,97	2,86	4,15
5	5,5	5,6	-
10	5,4	5,7	5,3
20	-	-	5,5

* Пробы воздуха были взяты на расстоянии 5-10 см от стенки ствола.

ствол - сбойка на гор. 529 м - клетевой ствол" после соединения канала вентилятора со скиповым стволом. Вследствие значительного выделения метана в клетевом стволе ($0,075-0,083 \text{ м}^3/\text{с}$) и малого расхода воздуха ($1,7-2 \text{ м}^3/\text{с}$) образовалось взрывоопасное содержание метана.

Приведенный пример показывает, что контурная естественная тяга может иметь направление движения воздуха в выработках не только при остановленном вентиляторе, но и в случае недостаточного его воздействия на нее (из-за потерь депрессии на преодоление сопротивления, в данном примере - на перемычке).

5.3. Рекомендации по применению остановки-вентиляторов главного проветривания на шахтах

В планах ликвидации аварий остановку вентиляторов главного проветривания рекомендуется предусматривать в следующих случаях:

при пожарах в горизонтальных горных выработках негазовых шахт с глубиной горных работ до 100 м; именно в этих условиях достигается наибольшая эффективность данного режима проветривания, заключающаяся в резком замедлении распространения продуктов горения по горным выработкам, и создаются наиболее благоприятные условия для спасения людей, застигнутых в шахте пожаром;

при пожарах в воздухоподающих стволах при условии, что отсутствуют предпосылки для возникновения рециркуляции и попадания продуктов горения с исходящей струей в воздухоподающие стволы; эта мера направлена на предотвращение выхода из строя вентилятора главного проветривания.

В ходе ведения работ по тушению пожара не рекомендуется останавливать вентиляторы главного проветривания.

ного проветривания их влияние на распределение воздуха, а тем более на направление его движения не столь заметно, но когда останавливается вентилятор, состояние проветривания выработок целиком зависит от их величины и степени взаимодействия. О значимости влияния контурной естественной тяги и его последствиях свидетельствует авария на шахте "Чайкино-Глубокая" № 2 ПО "Макеевуголь". В клетевом стволе этой шахты произошел взрыв метановоздушной смеси. Расследование причин аварии показало следующее.

Скиповой 1 и клетевой 2 стволы расположены в 38 м друг от друга, глубина их равна соответственно 1066 и 1094 м, диаметр 7,5 м. Стволы соединены между собой сбойками на горизонтах 529 и 1028 м. Клетевой ствол в июле 1974 г. был соединен на гор. 690,8 м с горными выработками шахты "Чайкино" главным северным квершлагом 3 (рис. 5.9). Стволы ниже этой сбойки были затоплены водой. После сбойки в полках, перекрывающих устье клетевое ствол, были пробиты отверстия размером $2,4 \times 1,1$ и $1,4 \times 1,4$ м для подачи воздуха в шахту. В связи с тем, что поступающая по стволам струя воздуха содержала метан, для ограничения расхода воздуха в главном северном квершлаг в 790 м от клетевое ствол была установлена шлакоблочная перемычка с регулируемым окном 4. До аварии по северному квершлаг поступало $7 \text{ м}^3/\text{с}$ воздуха с содержанием метана 0,9%. По окончании монтажа вентиляторной установки на скиповом стволе канал вентилятора был соединен со стволом. В процессе работ по перекрытию люков в нижнем полке клетевое ствол произошел взрыв, сопровождающийся тяжелыми последствиями. В шахте взрывом разрушила перемычку, установленную в северном квершлаг, в результате чего расход воздуха в нем увеличился с 7 до $27,5 \text{ м}^3/\text{с}$, при этом содержание метана составило 0,4%, т.е. в стволах выделялось $0,11 \text{ м}^3/\text{с}$ метана. В это время по клетевому и скиповому стволам в шахту поступал свежий воздух. С целью выяснения обстоятельств загазирования клетевое ствол в главном северном квершлаг была восстановлена разрушенная взрывом перемычка и установлен такой же режим проветривания, как и до аварии. Через сутки были произведены замеры расхода воздуха и содержание метана в устьях скипового и клетевое ствол и в главном северном квершлаг.

В пробах воздуха, отобранных в устье скипового ствол и канале вентилятора, метан не был обнаружен (табл. 5.3).

Расход свежего воздуха, поступающего по скиповому стволу до сбойки гор. 529 м, составлял $8,23-8,33 \text{ м}^3/\text{с}$; далее струя разветвлялась. Около $6,7-7 \text{ м}^3/\text{с}$ направлялось в шахту с содержанием метана 0,4% (что установлено замерами в главном северном квершлаг), а $1,7-2 \text{ м}^3/\text{с}$ выходило на поверхность по клетевому стволу.

Причиной движения воздуха вверх по клетевому стволу явилась естественная тяга, возникшая в контуре "скиповой

Примером применения остановки вентиляторов главного проветривания может служить шахта "Ленинградская" ПО "Ленинградсланец", которая характеризуется:

отсутствием газовыделения в горные выработки; при остановке проветривания даже на несколько дней состав воздуха практически не изменяется;

горизонтальным залеганием разрабатываемого пласта; большой протяженностью пластовых выработок, по которым свежая струя до забоев проходит в одном направлении до 12-14 км;

небольшой (50-100 м) глубиной залегания пласта и вскрывающих выработок;

большим числом (более 10) поверхностных вентиляторов; большим объемом (порядка нескольких млн м³) выработанных пространств.

В этих условиях на случай пожаров в начале струи (воздухоподающие стволы, выработки околоствольных дворов и прилегающие к ним выработки главных направлений) планом ликвидации аварий предусматривается применение реверсивного режима, при котором продукты горения выдаются кратчайшим путем на поверхность. На случай пожаров в конце вентиляционной струи, начиная с погрузочных пунктов очистных и нарезных забоев, сохраняется нормальный режим проветривания. Однако указанные режимы нецелесообразно применять при возникновении пожара в средней части маршрута движения воздуха, так как в этих случаях продукты горения распространяются со значительной скоростью, заполняя собой большую часть маршрута (до 8-10 км). Кроме того, осуществить общешахтное реверсирование в указанных условиях сложно из-за большого числа вентиляторов и большого объема выработанных пространств. По указанным причинам в выработках главных направлений за пределами зоны реверсирования широко применяется "нулевой" режим проветривания. Опытная проверка его показала, что после остановки всех вентиляторов главного проветривания скорости движения воздуха в основных выработках снижаются с 2-4 до 0,1-0,3 м/с. Анализ схемы проветривания шахты показал, что тепловая депрессия может возникнуть лишь в том случае, если нагретый воздух попадает в шурф или скважину. Но это не приводит к каким-либо отрицательным последствиям, так как под действием тепловой депрессии часть продуктов горения будет выдаваться на поверхность.

После вывода всех людей из шахты может быть установлен режим проветривания, обеспечивающий приемлемые условия для работы горноспасателей.

6. СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ

6.1. Общая характеристика средств оперативного управления проветриванием

В аварийной обстановке чрезвычайно важно не только быстро и правильно выбрать оптимальный режим проветривания выработок, но и оперативно осуществить его. Обычно управление проветриванием выработок производится с помощью имеющихся в шахте вентиляционных сооружений. Но указанные средства не всегда расположены в нужных местах и не всегда обладают необходимыми аэродинамическими качествами.

Для локализации пожаров в горных выработках устанавливаются пожарные двери (ляды), которые изготавливаются из негорючих материалов. Они могут быть использованы в аварийных условиях для оперативного управления проветриванием.

Шахтные пожарные двери можно разделить на три группы. К *первой* относятся двери, установленные в выработках, оборудованных рельсовыми путями, и не имеющие специального устройства для перекрытия зазора между почвой выработки и головками рельсов. Аэродинамическое сопротивление таких дверей составляет примерно $1,5-3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$. После их закрытия расход воздуха в выработке снижается обычно на 30-50%. Ко *второй* группе относятся пожарные двери, которые расположены в выработках, оборудованных рельсовыми путями, и имеют специальные устройства для перекрытия зазора между почвой выработки и головками рельсов (например, специальные откидные фартуки, усиленные шарнирно в нижней части полотнищ дверей). Сопротивление таких дверей составляет примерно $9-18 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$. Закрывание их приводит к снижению расхода воздуха в выработке в 2-3 раза. К *третьей* группе относятся двери, установленные в выработках, где отсутствуют рельсовые пути. Аэродинамическое сопротивление таких дверей достигает $50-60 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$, а воздухопроницаемость обычно находится в пределах $2-4 \text{ м}^3/\text{с}$. Указанные значения аэродинамических параметров относятся к дверям, которые обеспечивают плотное прилегание металлических полотен друг к другу и к дверной коробке. При деформации полотен сопротивление пожарных дверей резко уменьшается. Поэтому в таких случаях следует принимать специальные меры по уменьшению воздухопроницаемости дверей.

Для управления проветриванием широко применяются перемычки, которые изготавливаются из плотной ткани. Достоинствами их являются небольшая масса и незначительные габариты при транспортировании. Однако эти перемычки обладают существенными недостатками, основные из которых следующие:

высокая трудоемкость установки их в аварийных условиях (отделение горноспасателей в задымленной атмосфере устанавливает такую перемычку обычно за 2-8 ч);

недостаточная герметичность, связанная с плохим прилеганием перемычки к боковым породам.

Аэродинамическое сопротивление тканевых перемычек обычно не превышает $2 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$.

Лучшими аэродинамическими параметрами обладают перемычки, изготовленные из бетонитов, гипса, цемента и других материалов, но на их изготовление тратится слишком много времени, что объясняется сложностью доставки материалов в шахтных условиях. Поэтому такие перемычки не используются для оперативного управления проветриванием.

Фактор времени особенно актуален при угрозе самопроизвольного опрокидывания вентиляционных струй под действием тепловой депрессии, при угрозе взрыва метановоздушной смеси. В связи с этим возникла необходимость в создании легкой быстровозводимой перемычки, обладающей достаточно высокой герметичностью и позволяющей в считанные минуты осуществить тот или иной вентиляционный маневр. Таким требованиям отвечает разработанная во ВНИИГД вентиляционная перемычка парашютного типа.

Парашютная перемычка состоит из полусферического купола 1, изготовленного из легкой воздухонепроницаемой ткани (рис. 6.1). Равномерно по периметру в 24 местах прикреплены

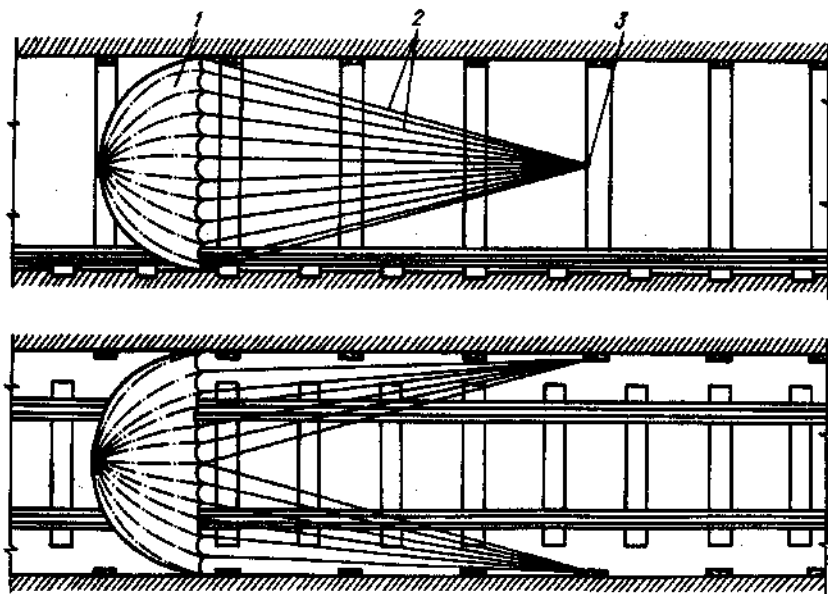


Рис. 6.1. Вентиляционная парашютная перемычка

стропы 2, сходящиеся в четыре пучка. Каждый пучок строп оканчивается карабином, посредством которого осуществляется крепление перемычки в горной выработке к элементам крепи 3 или жестко закрепленным предметам. Для возведения перемычки в незакрепленной выработке необходимо установить одну или две стойки. В выработках с анкерной крепью перемычка крепится к болтам этой крепи.

Парашютная перемычка предназначена для оперативного управления проветриванием горных выработок при ликвидации различного вида аварий и в нормальных условиях. Перемычка работоспособна при скорости воздушного потока от 0,5 до 12 м/с и перепадах давления от 7 до 2500 Па, температуре от -50 до 70°C , относительной влажности воздуха до 100% и любой форме поперечного сечения выработки. Выпускается трех типов-размеров: "Парашют-4", "Парашют-5", "Парашют-6".

Техническая характеристика перемычки	
Диаметр перемычки, м	4; 5; 6
Площадь сечения выработки, перекрываемой перемычкой, м^2	До 9; 15; 20
Время установки перемычки, мин	2-3
Масса перемычки, кг	9; 15; 20
Аэродинамические параметры:	
минимальная скорость воздуха, м/с	0,5
депрессия, Па:	
минимальная	7
максимальная	2500
кратность сокращения расхода воздуха	5-10
аэродинамическое сопротивление, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$	2-50

В аварийных условиях перемычки любых типов могут применяться с целью:

- сокращения расхода воздуха, поступающего к очагу пожара;
- предотвращения поступления воздуха с высоким содержанием метана к очагу пожара;
- перераспределения воздуха в выработках аварийного участка;
- временной изоляции выработок;

- повышения устойчивости вентиляционных струй при пожарах в наклонных выработках и предотвращения самопроизвольного опрокидывания воздушных потоков под действием тепловой депрессии;

- осуществления местного реверсирования вентиляционной струи в аварийных выработках;
- предотвращения поступления продуктов горения из тупиковой части подготовительных выработок в очистные забои;
- усиления проветривания выработок после внезапных выбросов угля и газа, при суффлярном выделении метана в случае завалов;

- быстрого восстановления режима проветривания выработок при разрушении вентиляционных сооружений взрывами.

В нормальных условиях парашютные и тканевые перемычки

могут применяться на стадии составления планов ликвидации аварий с целью:

оценки эффективности способов стабилизации воздушных потоков при составлении планов ликвидации аварий;

определения устойчивости вентиляционных струй в выработках с диагональными соединениями;

восстановления и ремонта вентиляционных дверей;

выбора места установки постоянных вентиляционных сооружений;

определения возможности усиления проветривания очистных забоев за счет уменьшения подачи воздуха в другие выработки.

При сокращении поступления воздуха к очагу пожара уменьшается интенсивность развития пожара, температура в его очаге, скорость перемещения очага горения по выработке. Однако продукты горения могут перемещаться также навстречу вентиляционной струе. Причем, чем меньше скорость движения воздуха, тем на большие расстояния распространяются продукты горения навстречу движению потока. При скорости движения около 0,6 м/с задымленность перед очагом пожара становится почти полной.

На газовых шахтах при выборе места установки перемычки следует учитывать наличие газонасыщенных выработанных пространств. На рис. 6.2 показаны графики изменения содержания метана в 21-м восточном вентиляционном штреке шахты № 43 ПО "Шахтерскантрацит" при установке в нем парашютной перемычки. К вентиляционному штреку примыкало выработанное пространство. Кривая 1 характеризует изменение метана в пункте, расположенном перед перемычкой (считая по ходу движения воздуха), кривая 2 - за ней. Расстояние каждого пункта от перемычки составляло 50 м. Из рис. 6.2 видно, что содержание метана за перемычкой было почти в 3 раза выше, чем перед ней. До установки перемычки и после ее снятия содержание метана в пунктах наблюдения отличалось незначительно. Следовательно, в указанных условиях установка перемычки перед очагом пожара нежелательна.

Изменение содержания метана в районе установки перемычки объясняется изменением давления и характером перераспределения утечек воздуха через выработанное пространство. При всасывающем проветривании шахты после установки пере-

мычки давление воздуха в одних выработках возрастает, а в других - падает. Возрастает на участке воздухоподающий ствол - перемычки, падает на участке перемычка - канал вентилятора. Подобное влияние указанных факторов описано в разд. 9.

При выборе места установки перемычки следует учитывать, что чем ближе она установлена к стволам, тем значительнее изменяется давление. Например, на шахте "Калиновская-Восточная" (ПО "Максевуголь") давление в лаве изменялось после установки парашютной перемычки в откаточном штреке на 120 Па, а после установки в главной воздухоподающей выработке, примыкающей к околоствольному двору, на 750 Па.

6.2. Результаты шахтных испытаний парашютной перемычки

Испытания парашютных перемычек проводили в учебной шахте оперативного отряда ВГСЧ и в выработках шахт "Россия", "Украина" ПО "Селидовуголь", "Коммунист" ПО "Октябрьуголь", "Торезская" ПО "Торезантрацит", "Колосниковская" ПО "Советскуголь", им. XXIII съезда КПСС ПО "Ровенькиантрацит".

Перемычки устанавливали в горизонтальных и наклонных выработках, проведенных в целиках и в выработанном пространстве, с различной формой и площадью поперечного сечения, при разных скоростях вентиляционной струи и перепадах давления.

Испытания в учебной шахте ВГСЧ проводили для определения аэродинамических параметров перемычек. Выработки в учебной шахте проведены в целиках и не примыкают к выработанному пространству. Вентиляционная сеть слабо разветвлена и представляет собой в основном последовательное соединение выработок.

Шахтными испытаниями предусматривалась оценка эксплуатационных характеристик перемычек в реальных, широко разветвленных сетях, с учетом пустот в закрепном пространстве выработок.

Результаты испытаний приведены в табл. 6.1 и 6.2.

Анализ аэродинамических параметров парашютных перемычек показал, что сопротивление перемычек при испытании в учебной шахте колебалось от 32,5 до 306,2 Н·с²/м⁸, а в действующих шахтах от 0,7 до 70,6 Н·с²/м⁸. Средние значения сопротивлений составляли соответственно 112,5 и 23,3 Н·с²/м⁸. Как видно, сопротивление парашютных перемычек в реальных условиях в среднем в 4,8 раза меньше, чем в учебной шахте. Объясняется это значительным влиянием пустот и трещин в окружающих выработки вмещающих породах, а также выработанных пространств.

Сопротивление 30-70 Н·с²/м⁸ характерно для выработок, проведенных по монолитным породам; сопротивление 10-30 Н·с²/м⁸ - для выработок, примыкающих к выработанному



Рис. 6.2. Графики изменения содержания метана

Таблица 6.1

Результаты испытаний вентиляционной парашютной перемычки в учебной шахте ВГСЧ

Место установки перемычки	Тип и форма крепи	Площадь сечения выработки, м ²	Депрессия, Па	Скорость воздуха, м/с		Сопротивление, Н·с ² /м ⁶	Кратность изменения расхода воздуха
				начальная	конечная		
Уклон	Бетонная, арочная	4,5	486	3,7	0,28	306,2	13,2
		4,5	240	2,63	0,24	209,6	11,1
		4,6	581	2,81	0,53	96	5,3
Восточный вентиляционный штрек	Металлическая с железобетонными затяжками, арочная	4,85	110	1,43	0,38	32,5	3,8
		4,85	768	3,28	0,57	100,1	5,7
Западный вентиляционный штрек	Металлическая с железобетонными затяжками, арочная	4,7	196	0,73	0,34	76,6	2,1
		5,9	232	1,5	0,42	38,6	3,6
Откаточный штрек	"-	9	294	1,2	0,3	40,3	4

пространству или имеющих трещины во вмещающих породах; менее $10 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$ - для выработок, имеющих пустоты в закрепленном пространстве. Так, если суммарная поперечная площадь пустот за крепью составляет примерно $0,5 \text{ м}^2$, то сопротивление парашютной перемычки будет равно $6 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$. Отсюда следует, что парашютную перемычку необходимо устанавливать в местах, где отсутствуют пустоты за крепью.

Кратность изменения расхода воздуха в учебной шахте находилась в пределах 2,1-13,2, а в действующих шахтах 1,2-24, однако средние значения были примерно равны соответственно 7,05 и 6,5, несмотря на значительное различие средних значений аэродинамического сопротивления перемычки. Анализ результатов исследований и схем проветривания участков, где проводились испытания перемычек, показал, что это объясняется большой разветвленностью вентиляционной сети в действующих шахтах. Поэтому при меньших значениях сопротивления перемычки достигается большой эффект. Учитывая, что

Таблица 6.2

Результаты испытаний вентиляционной парашютной перемычки в шахтных условиях

Место установки перемычки	Тип и форма крепи	Площадь сечения выработки, м ²	Депрессия, Па	Скорость воздуха, м/с		Сопротивление, Н·с ² /м ⁶	Кратность изменения расхода воздуха
				начальная	конечная		
<i>Шахта "Россия"</i>							
Ходок уклона	Металлическая с железобетонными затяжками, арочная	4,5	290	4,46	0,65	34,5	6,9
Устье уклона	Бетонная с металлическими верхняками, прямоугольная	6,5	236	3,09	0,51	21,7	6,1
Обходная на людской ходок	Железобетонные стойки с металлическими верхняками, трапециевидная	6,5	36	3,2	0,4	4,6	8
Вентиляционная сбойка на шурф	Металлическая с железобетонной затяжкой, арочная	6,9	1284	5,3	1,4	13,6	3,8
<i>Шахта "Украина"</i>							
Грузовая ветвь клетцевого ствола	Бетонитовая, прямоугольная	7	144	5,28	0,22	60,8	24
Горизонтальная часть параллельного хода	Бетонная, прямоугольная	5,6	58	1,94	0,21	40,8	9,1
Верхняя приемная пл. 4а	Металлическая с железобетонными затяжками, арочная	6,7	206	4,93	0,8	7,2	6,2

Продолжение табл. 6.2

Место установки перемычки	Тип и форма крепи	Площадь сечения выработки, м ²	Депрессия, Па	Скорость воздуха, м/с		Сопротивление, Н·с ² /м ³	Кратность изменения расхода воздуха
				начальная	конечная		
Грузовой ходок	Металлическая с железобетонными затяжками, арочная	8	1512	6,08	0,95	26,2	6,4
Вентиляционный квершлаг по пл. k ₈	"-	6,9	661	4,54	1,25	8,9	3,6
Сбойка с людским ходком пл. k ₈ , уклон № 2	"-	7	2400	5,28	1,5	21,5	3,5
<i>Шахта им. XXIII съезда КПСС</i>							
Западная вентиляционная сбойка № 2	Металлическая с железобетонными затяжками, арочная (пустоты за крепью)	11	1960	5,59	3,6	1,2	1,6
Вспомогательный ствол шахты № 81	Металлический верхняк на каменной кладке, прямоугольная	4,8	687	6,19	0,65	70,6	9,5
Вентиляционный квершлаг (пустоты за крепью)	Металлическая с железобетонными затяжками, арочная	11,1	96	1,16	0,96	3	1,2
Ступенчатый уклон	Металлическая с деревянными затяжками	6,2	74	2,87	1,3	1,1	2,2
Откаточный штрек № 20	Металлическая с железобетонными затяжками, арочная (пустоты за крепью)	8,9	124	3,2	1,46	0,7	2,2

Продолжение табл. 6.2

Место установки перемычки	Тип и форма крепи	Площадь сечения выработки, м ²	Депрессия, Па	Скорость воздуха, м/с		Сопротивление, Н·с ² /м ³	Кратность изменения расхода воздуха
				начальная	конечная		
Восточная вентиляционная сбойка № 3	Металлическая с деревянными затяжками, арочная (пустоты за крепью)	6,5	936	6,52	2,4	3,8	2,7
Вентиляционный штрек № 25 лавы № 30	Анкерная, прямоугольная	9,8	176	2,06	0,47	8,3	4,4
<i>Шахта № 43 ш/у "Торезское"</i>							
Вспомогательный наклонный ствол	Металлическая крепь с деревянными затяжками, арочная	7,4	1008	3,8	1,2	12,2	3,1
18-й западный откаточный штрек	То же	4,8	1364	3,7	1,6	23,6	2,3
Сбойка между ходками	Металлическая крепь с деревянными затяжками, арочная (пустоты за крепью)	6,3	38	0,92	0,71	1,9	1,3
21-й восточный вентиляционный штрек	Металлическая крепь с деревянными затяжками, арочная	3,1	103,4	1,04	0,57	33	1,8
<i>Шахта "Колосниковская"</i>							
Грузовой уклон	Металлическая с деревянными затяжками, арочная	11,8	2100	3,9	0,53	54,0	7,4
Откаточный штрек	Деревянная с деревянными затяжками, трапециевидная	5,1	130	1,3	0,32	49,0	4,1

Место установки перемычки	Тип и форма крепи	Площадь сечения выработки км, м ²	Депрессия, Па	Скорость воздуха, м/с		Сопротивление, Н·с ² /м ³	Кратность изменения расхода воздуха
				начальная	конечная		
<i>Шахта "Коммунист"</i>							
Откаточный штрек	Металлическая с деревянными затяжками, арочная	7,7	651	6,07	1,04	10,2	5,8
Обходная выработка	Железобетонные стойки, металлические верхняки с железобетонными затяжками, трапецевидная	4,3	300	2,94	0,67	35,7	4,4
Зезд на откаточный штрек	Бетонная, арочная	6,2	54	4,8	0,6	3,9	8

вентиляционные сети значительно отличаются друг от друга, кратность изменения расхода воздуха при установке перемычки следует определять расчетным путем.

В результате проведенных испытаний вентиляционной парашютной перемычки было установлено, что она легко и быстро (в течение 2-3 мин) возводится в горизонтальных и наклонных выработках. Минимальная скорость воздушного потока, при которой раскрывается перемычка, составляет 0,4-0,5 м/с, верхний предел скорости неограничен (по условиям шахты). Минимальная депрессия составляет 5-10 Па, максимальная, которая достигалась в выработках шахты - 2500 Па. Парашютная перемычка хорошо вписывается в выработки различной формы поперечного сечения (прямоугольной, трапецевидной, сводчатой, арочной и др.), довольно плотно прилегает к бокам, кровле и почве выработки, буквально "обтекает" трубы, рельсы, кабели и прочие предметы, благодаря чему и достигается хорошая герметичность.

6.3. Использование парашютных перемычек при ликвидации подземных аварий

Парашютные перемычки неоднократно и успешно применялись при тушении пожаров на угольных шахтах.

На шахте им. Калинина ПО "Донецкуголь" пожар возник в забое ходка 1-й западной лавы пл. h_{10} (рис. 6.3), который активизировался и принял значительные размеры. Это привело к возникновению конвективных потоков нагретых газов в ходке, которые препятствовали подходу горноспасателей на достаточно близкое расстояние для непосредственного тушения очагов пожара. Кроме того, в результате выгорания деревянных затяжек на расстоянии 70-80 м от забоя лавы начали возникать завалы от обрушения боковых пород, что привело к сокращению расхода воздуха, поступающего на аварийный участок, с 11,7 до 4,7 м³/с и увеличению содержания метана до 2%.

Для улучшения газовой обстановки, уменьшения зоны газирования и возможности ведения горноспасательных работ были установлены две вентиляционные быстровозводимые парашютные перемычки и в обходной выработке 1 и во 2-м вентиляционном штреке 2. Это позволило увеличить расход воздуха, поступающего на аварийный участок с 4,7 до 6 м³/с (на 28%), прекратить распространение продуктов горения по

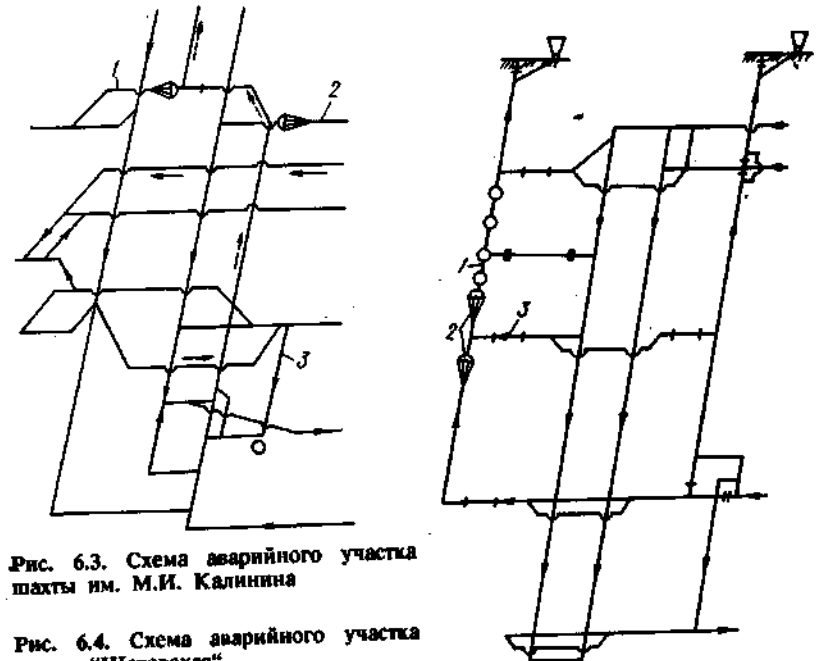


Рис. 6.3. Схема аварийного участка шахты им. М.И. Калинина

Рис. 6.4. Схема аварийного участка шахты "Щетовская"

транспортному ходу 3 вверх и приступить к активному тушению пожара.

Использование быстровозводимых парашютных перемишек в сочетании с порошковыми и пенными средствами пожаротушения позволило сократить сроки ликвидации аварии, снизить трудовые затраты и повысить безопасность ведения горноспасательных работ.

На шахте "Щетовская" ПО "Донбассантрацит" пожар возник в западной вентиляционной сбойке № 48 (рис. 6.4) 1 и распространился по наклонной выработке более чем на 500 м.

С целью снижения интенсивности горения пожара и его распространения по вентиляционной стойке были установлены две парашютные перемишки 2 выше и ниже 18-го западного вентиляционного штрека 3. Это позволило уменьшить расход воздуха, проходившего по аварийной выработке, более чем в 8 раз (с 13,75 до 1,67 м³/с) и приступить к активному тушению пожара.

Применение вентиляционных парашютных перемишек, порошковых и пенных противопожарных средств совместно с оперативным действием подразделений ВГСЧ и членов ВГК шахты позволило в короткий срок ликвидировать очень сложный подземный пожар.

Вентиляционные парашютные перемишки также применялись и при тушении пожара в 19-м восточном откаточном штреке шахты № 15 ш/у "Киевское" ПО "Шахтерскантрацит" (рис. 6.5). Возникший пожар быстро активизировался и угрожал распространиться по многим выработкам шахты. Это могло привести к выходу из строя 20-й восточной лавы производительностью 300 т/сут, а также к длительному (до 30 сут) простоем всей шахты.

С целью предотвращения быстрого распространения пожара по выработкам шахты на 19-м восточном откаточном штреке 1 был произведен местный реверс вентиляционной струи. Для этого использовали четыре парашютных перемишки, а также разбита перемишка № 3 в 19-м восточном откаточном штреке у вспомогательного уклона № 3 и открыты двери на 17-м восточном откаточном штреке 2. Местный реверс струи был осуществлен эффективно и через очаг пожара в опрокинутом режиме проветривания поступало 70-80% первоначального расхода воздуха.

Благодаря применению парашютных перемишек, удалось локализовать сложный подземный пожар и обеспечить в течение 4 сут проветривание аварийной выработки опрокинутой струей воздуха. Использование вентиляционных парашютных перемишек в сочетании с оперативными действиями личного состава ВГСЧ обусловило быстрое и эффективное тушение разгоревшегося пожара в течение 5 сут.

На шахте "Винницкая" ПО "Шахтерскантрацит" во 2-й восточной лаве 1 (рис. 6.6) при переходе забоем зоны повышенного горного давления, обусловленного наличием охранных цели-

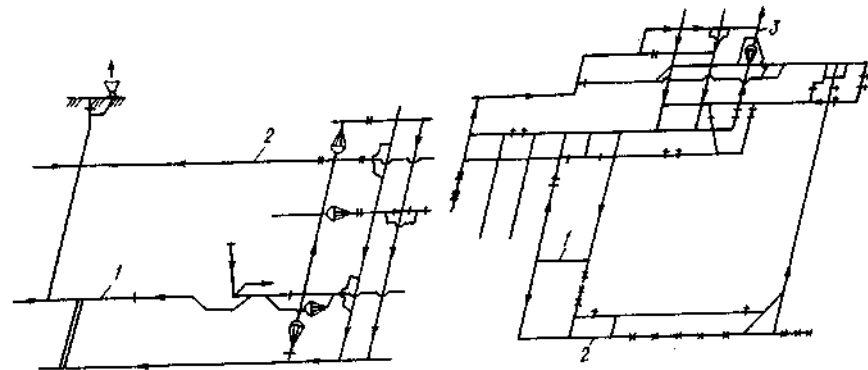


Рис. 6.5. Схема аварийного участка шахты № 15

Рис. 6.6. Схема аварийного участка шахты "Винницкая"

ков на вышележащем пласте, было обнаружено суфлярное выделение метана. Дебит метана составил более 20 м³/мин. Метаном начали заполняться выработки, которые располагались на исходящей вентиляционной струе, и насосная камера, оборудованная на вентиляционном штреке, для откачки воды с дренажного штрека 2. Это грозило затоплением шахты водой и последующим длительным выходом ее из строя.

Для предотвращения загазирования насосной камеры был осуществлен с помощью четырех парашютных перемишек местный реверс вентиляционной струи. Две парашютные перемишки были установлены в западном вентиляционном стволе 3 и по одной перемишке было установлено в восточном вентиляционном и конвейерном штреках, а также навешены парусные перемишки в восточном вентиляционном ходе № 1 и в сбойке западного вентиляционного ствола. Этот маневр позволил быстро установить требуемый режим проветривания, предотвратить загазирование выработок насосной камеры и ликвидировать в короткий срок подземную аварию.

На шахте № 10 ш/у "Кураховское" ПО "Красноармейскуголь" пожар возник в нижней части северного уклона пл. k₈1 (рис. 6.7). Для предотвращения развития пожара и его ликвидации необходимо было сократить расход воздуха в аварийных выработках. С этой целью установили вентиляционную парашютную перемишку в ходе 2 северного уклона пл. k₈ на 12 м выше 11-го северного откаточного штрека 3. Проникнув в выработку, горноспасатели прикрепили стропы перемишки к арочной крепи с двух сторон. Под действием вентиляционной струи купол перемишки раскрылся и перекрыл сечение выработки. Парашютная перемишка была установлена в течение 4 мин. После установки перемишки расход воздуха уменьшился с 16,7 до 5 м³/с, т.е. в три раза.

На шахте им. XII съезда КПСС ПО "Стахановуголь" пожар

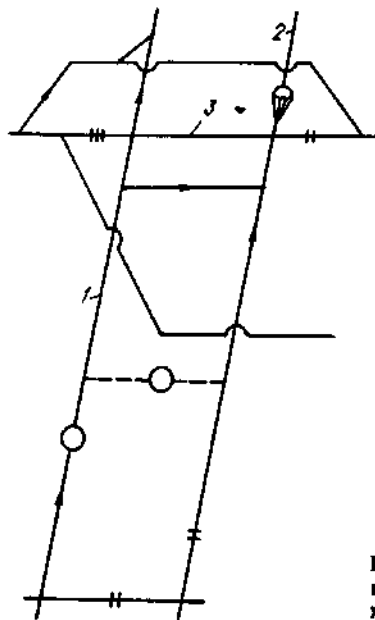


Рис. 6.7. Схема аварийного участка шахты № 10 ш/у "Кураховское" ПО "Красноармейскуголь"

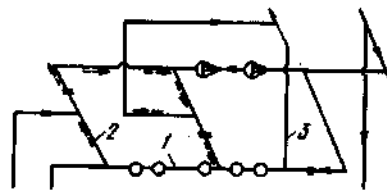


Рис. 6.8. Схема аварийного участка шахты им. XXII съезда КПСС ПО "Стахановуголь"

возник в западном штреке 1 пл. № гор. 680 м, по которому выдавалась струя воздуха из двух лав (рис. 6.8). Расход воздуха составлял $22,5 \text{ м}^3/\text{с}$, и при этих условиях пожар быстро активизировался. Вследствие выгорания крепи в штреке обрушились породы кровли. При этом расход воздуха резко уменьшился, вентиляционная струя в квершлага № 15 2 самопроизвольно опрокинулась. В выработках аварийного участка ухудшилась газовая обстановка. К очагу пожара со стороны западной лавы пл. № воздух поступал с содержанием метана до 3%. В то же время по квершлага № 15 к месту его сопряжения с западным вентиляционным штреком пласта №, куда переместился пожар, направлялось большое количество воздуха ($8,83 \text{ м}^3/\text{с}$), что способствовало дальнейшему развитию пожара. Температура воздуха в штреке за очагом пожара повысилась до $106 \text{ }^\circ\text{C}$, создавалась угроза распространения его на вентиляционную сбойку 3. Необходимо было срочно уменьшить расход воздуха в квершлага № 15 и увеличить его поступление в западные лавы пластов № и № гор. 800 м, чтобы снизить содержание метана в вентиляционной струе, поступающей по западному штреку пл. № к очагу пожара. Для этого в групповом штреке пл. № гор. 680 м между квершлагами № 15 и 14 были установлены две парашютные перемычки. В результате расход воздуха в западной лаве пл. № увеличился на 50%, а содержание метана в вентиляционной струе, поступающей к очагу пожара, снизилось до 1%, а в дальнейшем - до 0,5%. Расход воздуха, поступающего к

очагу пожара по квершлага № 15, уменьшался с $8,83$ до $2 \text{ м}^3/\text{с}$, температура воздуха за очагом пожара у вентиляционной сбойки снизилась с 106 до $62 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, применение парашютных перемычек позволило оперативно осуществить перераспределение воздуха по выработкам аварийного участка, предотвратить накопление метана, а также обеспечить работу транспорта и проход людей без изменения установившегося режима проветривания.

7. ДЕПРЕССИОННАЯ СЪЕМКА

В соответствии с действующими Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах на каждой шахте один раз в три года производится депрессионная съемка, результаты которой используются при расчетах вентиляции в нормальных и аварийных условиях, составлении планов ликвидации аварий и программы развития горных работ.

Депрессионные съемки позволяют изучить картину распределения перепадов давления и расходов воздуха по горным выработкам, аэродинамические сопротивления этих выработок и вентиляционных сооружений, величину тепловых источников тяги в нормальных и аварийных условиях.

Выполнение депрессионных съемок осуществляется подразделениями ВГСЧ

7.1. Общие положения. Особенности замеров депрессии в шахтах

Давление воздуха в горных выработках не остается постоянным даже в течение короткого промежутка времени. Причины изменений давления весьма разнообразны: изменение сопротивлений горных выработок, работа транспорта, вибрация элементов вентиляторов и др. Кроме того, возникает пульсация давления воздуха, которые связаны с образованием вихрей при турбулентном характере движения воздушного потока. Длительность пульсаций составляет от долей секунды до нескольких минут. На проветривание выработок шахты пульсации не оказывают заметного влияния, но они существенно влияют на условия проведения депрессионной съемки.

Амплитуда пульсаций в шахте может достигать нескольких сот паскалей. На поверхности она обычно на несколько порядков меньше.

Помимо пульсаций в шахте наблюдаются длительные изменения давления. Они могут происходить, например, при закорачивании вентиляционных струй. Давление при этом изменяется скачкообразно.

В аварийных условиях источником пульсаций является также очаг пожара. Особенно велики пульсации при горении в наклонных и вертикальных выработках с нисходящим движением воздуха. Следует также учитывать, что при пожаре режим проветривания аварийного участка может самопроизвольно изменяться из-за изменения тепловой депрессии.

Вышеказанное необходимо учитывать при выборе методов и средств проведения депрессионных съемок.

В воздушном потоке различают *статическое, динамическое и полное* давления. Статическим давлением называется абсолютное давление воздуха, которое воспринимает тело, помещенное в поток и перемещающееся со скоростью потока параллельно ему. Динамическим (скоростным) - давление, оказываемое движущимся потоком на неподвижную пластину, которая установлена перпендикулярно потоку. Это давление, Па, определяют по формуле

$$h_d = 4,9\rho v^2, \quad (7.1)$$

где v - скорость движения воздуха, м/с; ρ - плотность воздуха, кг/м³.

Полное давление воздушного потока равно сумме статического и динамического

$$p = p_{ст} + h_d, \quad (7.2)$$

где p - полное давление, Па; $p_{ст}$ - статическое давление, Па.

Абсолютное полное давление определяется по следующим формулам:

в линии всасывания

$$p_{вс} = p_{ст,вс} + h_d; \quad (7.3)$$

в линии нагнетания

$$p_n = p_{ст,n} + h_d, \quad (7.4)$$

т.е. абсолютное давление всегда больше абсолютного статического давления.

Вентиляционное давление возникает при работе вентилятора на трубопровод или шахтную сеть.

В линии всасывания статическое вентиляционное давление имеет знак "минус", а в линии нагнетания - "плюс". Динамический напор всегда положителен.

Для линии всасывания существует зависимость

$$h_{вс} = -h_{ст,вс} + h_d, \quad (7.5)$$

где $h_{вс}$ и $h_{ст,вс}$ - вентиляционное давление в линии всасывания соответственно полное и статическое, Па.

Во всасывающем трубопроводе полное вентиляционное давление, замеренное относительно атмосферного, меньше статического вентиляционного.

Для линии нагнетания полное вентиляционное давление определяется по формуле:

$$h_n = h_{ст,n} + h_d, \quad (7.6)$$

где $h_{ст,n}$ - статическое вентиляционное давление в линии нагнетания, Па.

В нагнетательном трубопроводе полное вентиляционное давление больше статического.

Разность полных абсолютных давлений в нагнетательном и всасывающем трубопроводах представляет собой полное вентиляционное давление, Па, развиваемое вентилятором на сеть

$$h_b = p_n - p_{вс}. \quad (7.7)$$

Полное давление вентилятора равно также сумме абсолютных полных вентиляционных давлений в нагнетательном и всасывающем трубопроводах

$$h_b = |h_n| + |h_{вс}| + (h_{д,n} - h_{д,вс}), \quad (7.8)$$

где $h_{д,вс}$ и $h_{д,n}$ - динамическое давление соответственно в нагнетательном и всасывающем трубопроводах, Па.

При проведении измерений приемниками давления служат обычно трубки, помещаемые в движущийся поток. Форма трубки и ее расположение в потоке влияют на результаты измерений.

Разность полных абсолютных или полных вентиляционных давлений между двумя пунктами выработки составляет депрессию в выработке (или потерю давления)

$$h = p_1 - p_2 = h_1 - h_2, \quad (7.9)$$

где p_1 и h_1 - полное абсолютное и вентиляционное давления в пункте 1, Па; p_2 и h_2 - то же в пункте 2.

Депрессионная съемка в отдельной выработке состоит из одновременных замеров депрессии и скорости движения протекающего воздуха. По этим величинам и площади поперечного сечения выработки в месте замера скорости движения воздуха определяют аэродинамическое сопротивление выработки, Н·с²/м⁴,

$$R = h/Q^2, \quad (7.10)$$

где Q - расход воздуха в выработке, м³/с.

На практике депрессию измеряют иногда также в миллиметрах водяного или ртутного столба:

$$1 \text{ мм вод.ст.} = 9,81 \text{ Па}, \quad 1 \text{ мм рт. ст.} = 13,6 \text{ мм вод.ст.}$$

7.2. Приборы для проведения депрессионной съемки

Для проведения депрессионных съемок используются следующие приборы: микроанометры, U-образные водяные депрессиометры, микробарометры, анемометры, психрометры, термометры, приемники давления (насадки).

Микроманометр ММН предназначен для измерения депрессий до 2000 Па. Шкала измерительной трубки имеет длину 250 мм и каждое деление ее соответствует 1 мм. Угол наклона измерительной трубки можно менять. При этом устанавливаются пределы измерений 500, 750, 1000, 1500, 2000 Па. Указанным пределам соответствуют следующие значения коэффициента наклона измерительной трубки: 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; и 0,9. Перед работой микроманометр заполняют этиловым спиртом. Для четкой видимости мениска этиловый спирт должен быть окрашен. Погрешность прибора от изменения плотности спирта под влиянием температуры и его крепости учитывается поправочным коэффициентом. Погрешность показаний микроманометра обычно не превышает 0,5-1% соответствующих пределов измерений.

Перед спуском в шахту микроманометр проверяют на герметичность. Для этого измерительную трубку устанавливают на наибольший предел измерения. Через резиновую трубку, подсоединенную к штуцеру микроманометра со знаком "плюс", осторожно вдувают воздух до тех пор, пока уровень спирта не займет положение в конце шкалы. Затем конец резиновой трубки пережимают. Если в течение 1,5-2 мин показание прибора существенно не уменьшится, то резервуар микроманометра можно считать герметичным. Для проверки герметичности прибора на участке между верхним концом измерительной трубки и штуцером со знаком "минус" из резиновой трубки, соединенной с указанным штуцером отсасывают воздух, переводя уровень спирта в верхнюю часть шкалы. Затем, пережав трубку и зафиксировав показания прибора, также выдерживают 1,5-2 мин. Если уровень спирта не падает, то герметичность прибора удовлетворительная.

При значениях измеряемой депрессии выше 2000 Па вместо микроманометра применяют U-образный водяной депрессиометр с соответствующим пределом измерений.

При проведении депрессионных съемок используют также микробарометры МБ-63 и МБЦ, которые имеют автономное питание. Следует учитывать, что микробарометр МБ-63 не соответствует требованиям искробезопасности, однако его легко сделать искробезопасным. Это достигается, по рекомендациям ВостНИИ, заменой ламп подсвета шкалы Р-3,5В (260 мА) на лампы типа МН-1В (75 мА) и введением ограничительного сопротивления в цепь питания ламп подсвета.

Микробарометр МБ-63 имеет две модификации, отличающиеся диапазоном измерения атмосферного давления (150 и 300 мм рт. ст.). Точность отсчета по прибору равна $\pm 0,01$ мм рт. ст. Средняя квадратическая погрешность прибора на всем диапазоне шкалы при измерениях разности давлений 50 мм рт. ст. составляет $\pm 0,05$ мм рт. ст.

Перевод показаний шкалы прибора в единицы давления производится по формуле

$$p = p' + \Delta p_t + \Delta p_b + \Delta p_0, \quad (7.11)$$

где p' - табличное значение давления воздуха при температуре прибора 20 С, вычисленное путем простой интерполяции по шкаловой таблице, приведенной в паспорте прибора; Δp_t - температурная поправка, определяется по графику, который строится перед началом работы с прибором; Δp_b - поправка на модуль упругости, вычисляется по формуле

$$\Delta p_b = b(750 - p)(t_n - 20), \quad (7.12)$$

где b - коэффициент модуля упругости мембран и пружин (дается в паспорте прибора); p - давление воздуха в данной точке (условно принимается $p = p'$); t_n - температура внутри прибора, С; Δp_0 - добавочная поправка, определяемая из сравнения одновременных показаний контрольного и проверяемого приборов.

Микробарометр с цифровым отсчетом МБЦ предназначен для измерения относительных изменений атмосферного давления при проведении депрессионных съемок шахт, а также барометрического высотного нивелирования. Рабочий диапазон измеренного атмосферного давления от 710 до 830 мм рт.ст. Основная средняя квадратическая погрешность измерения атмосферного давления после введения поправок - не более 0,1 мм рт.ст.

Абсолютное атмосферное давление вычисляют по формуле

$$p = p_n + \Delta p_t + \Delta p_{ш} + \Delta p_0, \quad (7.13)$$

где p_n - отсчет величины давления по прибору МБЦ, мм рт.ст.; Δp_t - температурная поправка, определяемая по приложенным к паспорту прибора номограммам; $\Delta p_{ш}$ - шкаловая поправка, определяемая по приложенному к паспорту прибора графику; Δp_0 - постоянная поправка на смещение "нуля" прибора во времени.

Проверка технического состояния микробарометра проводится периодической сверкой показаний прибора в процессе эксплуатации с показаниями точного контрольного прибора. Не реже одного раза в год рекомендуется проводить проверку всех микробарометров.

Скорость движения воздуха замеряют крыльчатыми или чашечными анемометрами. Диапазон измерения средней скорости воздушного потока для крыльчатого анемометра АСО-3 от 0,3 до 5 м/с, чашечного МС-13 - от 1 до 20 м/с. Предел допустимой погрешности, м/с, определяется по формуле:

$$\Delta = \pm(a + 0,05v), \quad (7.14)$$

где a - постоянная величина (для крыльчатого анемометра $a = 0,1$, для чашечного $a = 0,3$); v - измеряемая средняя скорость воздушного потока, м/с.

С целью повышения точности определения расходов воздуха не рекомендуется использовать чашечные анемометры для измерения скоростей ниже 3 м/с.

В шахте с течением времени под воздействием пыли и влаги характеристика анемометров изменяется. Изменяется она также под влиянием небольших механических повреждений ветроприемника. Поэтому периодически (через 1-2 мес) следует проводить сверку рабочих анемометров с контрольным, который не используется в процессе проведения депрессионной съемки. Для сверки выбирается ровный участок горной выработки, имеющий площадь сечения не менее 5 м^2 и скорость движения воздуха 3-5 м/с. В центре выбранного участка на деревянных стойках устанавливают рабочие и контрольные анемометры. Расстояние между анемометрами составляет 50-100 мм. Включают они и выключаются с помощью шнуров через 100 с. По полученным данным находят скорость движения воздуха в выработке по тарировочному графику каждого анемометра. Затем скорость движения воздуха в выработке уменьшают в 2-3 раза с помощью перемычки или закорачивания вентиляционной струи и все измерения повторяют. Характеристики рабочего анемометра корректируются в том случае, если расхождение с контрольным анемометром по скорости движения воздуха превышает 5%.

Влажность шахтного воздуха определяют с помощью аспирационных психрометров, которые используют для определения температуры воздуха. Можно применять также термометры с ценой деления не более $0,2^\circ \text{C}$.

Простейшим приемником давления потока является круглая трубка длиной 8-10 наружных диаметров, заканчивающаяся закрытым носиком полусферической формы. На расстоянии 3-4 диаметров от носика в приемной трубке просверливают отверстие диаметром 0,5-1,5 мм. Такую трубку называют статической трубкой или статическим насадком.

Статическая трубка может быть изготовлена самостоятельно. При этом рекомендуется ее наружный диаметр принимать равным 8-15 мм, а открытый конец заканчивать штуцером, служащим для соединения со шлангом. После изготовления статической трубки следует произвести ее тарировку, в результате которой находят поправочный коэффициент. Тарировка проводится путем сравнения показаний изготовленной и эталонной трубки.

Приемниками полного и динамического давления потока являются пневмометрические (воздухомерные) трубки. Державка такой трубки снабжена двумя патрубками, один из которых воспринимает полное давление (знак "плюс"), а второй - статическое давление (знак "минус").

7.3. Выбор метода проведения депрессионной съемки

Депрессию горных выработок можно определить следующими методами:

непосредственным измерением депрессии между двумя пунктами с помощью микроанометра и трубки;

вычислением депрессии между двумя пунктами по измеренным в них абсолютным давлениям и вводимым поправкам; измерением разности между каким-либо постоянным давлением и давлением в последовательном ряде пунктов маршрута.

Сущность первого метода заключается в следующем. Между двумя пунктами прокладывают трубку, которую подсоединяют к микроанометру. Последний показывает депрессию в выработке. При этом методе проведения депрессионной съемки пульсации давления воздуха сказываются меньше, так как они действуют одновременно в обоих пунктах.

Этот метод имеет следующие достоинства: высокую точность измерений (с помощью микроанометра ММН измеряют депрессию с погрешностью $\pm 1 \text{ Па}$); не требуется вводить высотные поправки. Недостаток метода - большая трудоемкость, особенно при определении депрессий длинных выработок. Поэтому первый способ рекомендуется применять в основном для замера в выработках с депрессией от 2-3 до 50 Па и на местных сопротивлениях (дверях, кроссингах, завалах и др.).

При применении второго метода проведения депрессионной съемки микробарометрами измеряют абсолютное давление воздуха в начале и в конце выработки и по полученным данным вычисляют депрессию в выработке. Основное преимущество данного метода - меньшая трудоемкость при выполнении подземных работ. Кроме того, с помощью этого метода можно определить депрессию в непроходимых выработках. Основной недостаток - большая погрешность, которая определяется не только техническими возможностями приборов, но и условиями их работы в шахте. Из-за пульсаций воздуха невозможно одновременно (с точностью до долей секунды) определить абсолютное давление в начале и конце выработки. Это ухудшает показатели депрессионных съемок, выполненных с помощью микробарометров даже по методу одновременных отсчетов.

На рис. 7.1 показана зависимость относительной ошибки определения депрессии от измеряемой величины (с учетом пульсаций давления воздуха в шахте). При этом предполагается, что депрессия измеряется методом одновременных отсчетов и учитывается дрейф нуля.

Как видно из приведенного графика, при перепаде давлений 50 Па относительная ошибка составляет 20%. При меньших перепадах давлений ошибка становится очень большой. Так, при

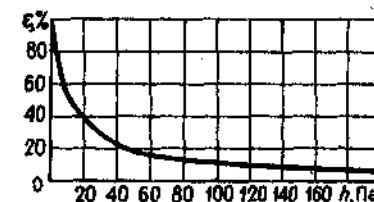


Рис. 7.1. График к определению относительной ошибки ϵ

депрессии выработки 12 Па, она достигает 50%. Поэтому в шахтных условиях микробарометры типа МБ-63, МБЦ и другие аналогичные приборы рекомендуется применять при депрессии более 50 Па.

Третий метод проведения депрессионной съемки заключается в том, что депрессия вычисляется по результатам измерений перепадов вентиляционных давлений между каким-либо постоянным давлением (например, на поверхности) и давлениями в некоторых пунктах маршрута. Этот метод рекомендуется применять при обследовании вентиляторных установок.

Рассмотренные методы проведения депрессионных съемок имеют свои достоинства и недостатки. Поэтому при выборе их необходимо учитывать конкретные условия. Можно при измерении депрессии в выработке применять два метода.

Минимальное значение депрессии, которое можно измерить в шахте с помощью существующих приборов, составляет 2-3 Па. Аэродинамическое сопротивление выработки, $H \cdot c^2/m^3$, депрессию в которых измерить невозможно, рассчитывают по формуле

$$R = \alpha k_{\phi} L \sqrt{S} / S^3, \quad (7.15)$$

где α - коэффициент аэродинамического сопротивления выработки; k_{ϕ} - коэффициент формы поперечного сечения выработки (для крепи с арочной формой сечения $k_{\phi} = 3,88$, трапециевидной $k_{\phi} = 4,15$, сводчатой $k_{\phi} = 3,8$); L - длина выработки, м; S - средневзвешенная площадь поперечного сечения выработки, m^2 .

Коэффициент α зависит от большого числа факторов площади сечения выработки, типа крепи, расстояния между крепью, угла падения, способа проведения выработки и др. Учесть все эти факторы в аварийных условиях невозможно. Поэтому коэффициент α для горных выработок выбирают в зависимости от следующих параметров.

Коэффициент $\alpha \cdot 10^3$, $H \cdot c^2/m^4$,

для выработок:

незакрепленных, проведенных:

по углю	5-8
по породе	7-10
лещей, просек без крепи	8-9
закрепленных бетоном или кирпичом	2,5-3
закрепленных неполными рамами из круглого леса:	
при продольном калибре 1-2	11-16
при продольном калибре >2	13-18
закрепленных арками из спецпрофиля	13-17
закрепленных железобетонными стойками и металлическими верхняками:	
при продольном калибре 2-3	14-22
при продольном калибре >3	17-30

незакрепленных с рядом стоек посередине	17-26
закрепленных неполными крепежными рамами из стоек и верхняками круглого сечения с рядом стоек посередине	34-43
закрепленных полными крепежными рамами с рядом стоек посередине	47-57

Средневзвешенная площадь поперечного сечения выработок определяется по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n S_i l_i / L, \quad (7.16)$$

где S_i - площадь поперечного сечения выработки на i -м участке, m^2 , L_i - длина i -го участка выработки, м.

Если за крепью имеются пустоты, по которым движется воздух, то при расчетах площадь поперечного сечения выработки увеличивают на 3-5%.

В некоторых случаях аэродинамическое сопротивление выработок удобнее находить по формуле

$$R = 0,01 r_{уд}, \quad (7.17)$$

где $r_{уд}$ - удельное сопротивление выработки (т.е. сопротивление участка выработки длиной 100 м), которое находится по графику (рис. 7.2) в зависимости от площади поперечного сечения выработки и типа крепи.

Определение аэродинамического сопротивления горячей выработки. Параметры воздушного потока, проходящего через очаг пожара, изменяются следующим образом: возрастает его температура и объем, появляются новые газы (оксид и диоксид углерода, оксиды азота и др.).

Оценить степень увеличения объема потока можно на основе уравнения состояния

$$Q_n p_n / T_n = Q_0 p_0 / T_0, \quad (7.18)$$

где Q_n , p_n и T_n - соответственно рассматриваемый объем, давление и абсолютная температура шахтного воздуха в нормальных условиях (до пожара); Q_0 , p_0 и T_0 - те же параметры воздушного потока после прохождения его через очаг пожара.

Давление воздуха при пожаре изменяется незначительно, поэтому можно считать, что

$$p_n = p_0,$$

тогда

$$Q_n = Q_0 T_n / T_0. \quad (7.19)$$

Объем воздушного потока, проходящего через очаг пожара, возрастает пропорционально росту его температуры.

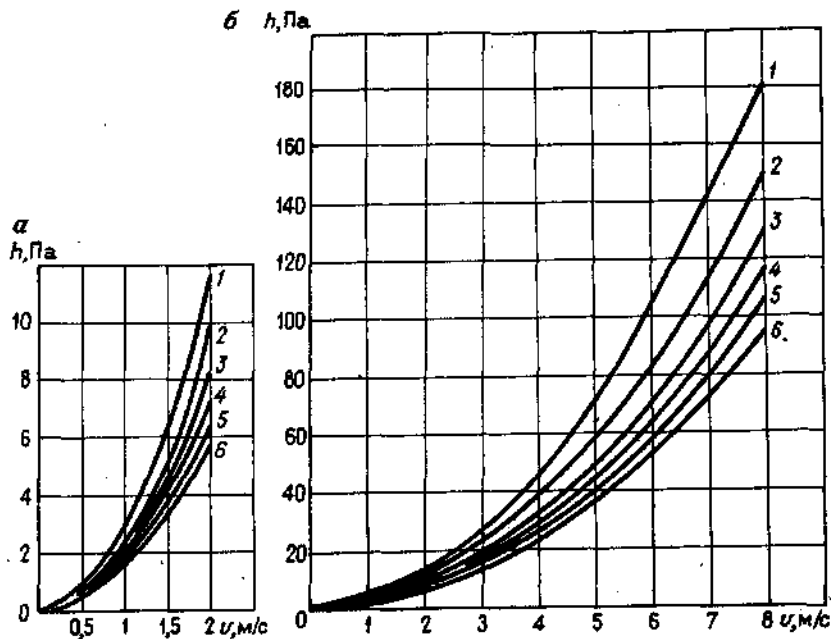


Рис. 7.2. График к определению удельной депрессии горных выработок h : 1, 2, 3, 4, 5 и 6 - при площади поперечного сечения соответственно 4, 6, 8, 10, 12 и 15 м²

Дополнительно на 5-7% увеличивается объем потока при пожаре за счет изменения химического состава воздуха. Эти изменения могут быть учтены соответствующим коэффициентом запаса.

Плотность воздуха и его удельный вес после пожара уменьшается:

$$\rho_n = \rho_n T_n / T_n, \quad (7.20)$$

$$\gamma_n = \gamma_n T_n / T_n, \quad (7.21)$$

где ρ_n , γ_n и ρ_n , γ_n - плотность и удельный вес воздуха, соответственно нагретого и в нормальных условиях.

Аэродинамическое сопротивление горной выработки, по которой проходит нагретый воздух, определяется по формуле:

$$R_n = \beta \gamma_n L P / (2gS^3), \quad (7.22)$$

где β - коэффициент, учитывающий шероховатость боков выработки (коэффициент трения); L - длина выработки, м; P - периметр выработки, м; g - ускорение свободного падения, м/с²; S - площадь поперечного сечения выработки, м².

Аэродинамическое сопротивление выработки при пожаре

уменьшается, т.е. уменьшается удельный вес воздуха, входящего в формулу (7.22).

Последнюю зависимость можно представить также в виде

$$R_n = R_n T_n / T_n, \quad (7.23)$$

где R_n - аэродинамическое сопротивление выработки в нормальных условиях, Н·с²/м⁸.

Депрессию горной выработки, по которой проходит нагретый воздух, можно определить по формуле

$$h_n = R_n Q_n^2, \quad (7.24)$$

или с учетом зависимостей (7.19) и (7.23) по формуле

$$h_n = R_n Q_n^2 T_n / T_n. \quad (7.25)$$

Из последнего уравнения следует, что для подачи в выработку определенного количества воздуха при пожаре в ней требуется приложить большую депрессию, чем в нормальных условиях.

При электро моделировании или расчете вентиляционной сети на ЭВМ влияние пожара удобно учитывать эквивалентным сопротивлением, определяемым по формуле

$$R_{жв} = R_n T_n / T_n. \quad (7.26)$$

7.4. Проведение депрессионной съемки с помощью микроманометра и шланга

Для депрессионной съемки применяются резиновые или пластмассовые шланги с внутренним диаметром 2-5 мм. Лучшим является резиновый, так как он меньше подвержен деформациям, длиной обычно 100-200 м. Перед работой шланг проверяют на герметичность. Проверка его осуществляется аналогично проверке микроманометра. Если при пережатой трубке изменяются показания микроманометра, то необходимо определить места повреждения шланга. Для этого его опускают в резервуар с водой, закрыв предварительно один его конец, и нагнетая воздух в другой. В местах повреждения будут выделяться пузырьки воздуха. Эти места удаляют и оставшиеся отрезки шланга соединяют между собой металлическими или пластмассовыми трубками длиной 50-100 мм. В шланге не должно быть влаги. Для этого его продувают насосом или сжатым воздухом.

Депрессионная съемка проводится следующим образом. Между началом и концом выработки прокладывают шланг. Микроманометр может быть установлен в начале или в конце выработки, считая по ходу движения воздуха. В первом случае шланг подсоединяется к штуцеру микроманометра со знаком "минус", во втором случае - со знаком "плюс". К свободному штуцеру микроманометра подсоединяют отрезок шланга длиной 3-5 м. К

концам обоих шлангов подсоединяют статические трубки. Последние устанавливают в выработке параллельно направлению движения воздуха носиком навстречу потоку. При снятии показаний необходимо следить, чтобы микроанометр был установлен строго горизонтально. Если длина выработки больше длины шланга, то ее разбивают на станы, равные длине шланга. В этом случае депрессия в выработке определяется как сумма депрессий на протяжении отдельных станов.

Если статические трубки не применяются, то с целью уменьшения влияния динамического напора свободные концы шлангов целесообразно размещать у боков выработки.

Аэродинамическое сопротивление выработки может быть определено с большей точностью только при условиях, что в какой-либо момент времени будет замерена депрессия и соответствующий этому моменту расход воздуха. Во время замера скорости движения воздуха отсчет по микроанометру снимается через 20 с.

Для замера расхода воздуха выбирается по возможности прямолинейный незагроможденный участок выработки. Расстояние от места замера до поворота выработки, вагонетки, складированных материалов должно быть не менее пятикратной ширины выработки. В местах замера крепь должна быть исправной и плотно прилегать к бокам выработки. Измерение средней скорости движения воздуха проводится путем обхода анемометра по сечению выработки. В зависимости от положения замерщика возможны два варианта замера: "в сечении" и "перед собой". В первом случае замерщик становится спиной к боку выработки и, перемещаясь по сечению, равномерно водит анемометром по нему. При высоте выработки до 2 м замерщик держит анемометр в руке, свыше 2 м - на шесте. Во втором случае замерщик становится в выработке против струи воздуха и, перемещаясь по ее сечению, равномерно водит анемометром, держа его на вытянутой руке перед собой. Путь движения анемометра такой же, как и в первом случае. Продолжительность замера - 100 с. Скорость движения воздуха замеряется дважды. Замеры считаются удовлетворительными, если расхождение между показаниями счетчика анемометра отличаются не более чем на 10%.

Измерение поперечного сечения выработки в свету осуществляют по схемам, изображенным на рис. 7.3. Если в выработке имеется водосточная канавка, не заполненная водой, трубы, конвейер и другое оборудование, то дополнительно определяют их размеры.

Температуру воздуха в вертикальных и наклонных выработках измеряют через 100-200 м, в горизонтальных - через 400-500 м. Для этого психрометр подвешивают к крепи или затяжке, предварительно заведя его пружинный механизм.

Если при съемке шланг переносится в наклонную выработку с углом падения более 10° и температурой воздуха, отличающейся

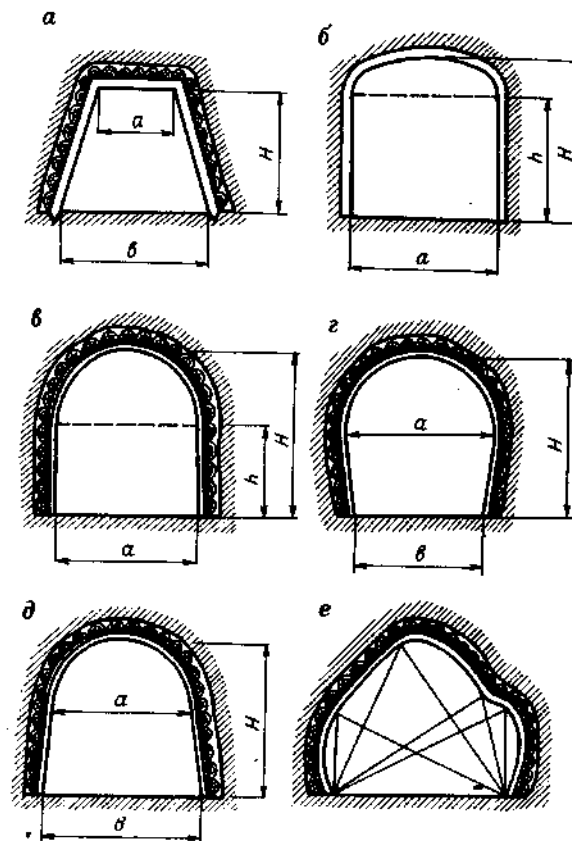


Рис. 7.3. Формы поперечного сечения горных выработок

более чем на 5°C от температуры окружающей среды, в которой шланг был перед этим, депрессионную съемку следует начинать спустя час после прокладки шланга по выработке. Перед проведением съемки в вертикальной выработке шланг рекомендуется проложить за 2 ч до начала замеров. В течение этих 2 ч концы шланга должны быть открыты. С целью сокращения времени выдержки (примерно в 3 раза) рекомендуется прокачать шланг насосом 3-4 раза через равные промежутки времени.

При проведении депрессионной съемки в очистном забое шланг должен быть проложен так, чтобы один конец его находился в откаточной, другой - в вентиляционной выработке.

На местных сопротивлениях, существенно влияющих на проветривание шахты (перемычки, регуляторы, завалы и др.), измерения проводятся отдельно. При этом концы шланга располагаются в 10-15 м от начала и конца местного сопротивления.

Депрессия в выработке (в пределах стана), Па, замеренная микроманометром, определяется по формуле

$$h = (n_{\text{кз}} - n_{\text{н}})k_1k_2 + 0,63(v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2), \quad (7.27)$$

где $n_{\text{кз}}$ - среднее значение конечных показаний микроманометра; $n_{\text{н}}$ - начальное показание микроманометра; k_1 - коэффициент наклона шкалы микроманометра; k_2 - коэффициент, учитывающий градуировку микроманометра, если градуировка выполнена в паскалях, то $k_2 = 1$, если в мм вод.ст., то $k_2 = 9,81$; $v_{\text{н}}$ и $v_{\text{к}}$ - скорость движения воздуха соответственно в начале и в конце выработки (считая по ходу движения воздуха), м/с.

Депрессию в паскалях, замеренную с помощью водяного U-образного депрессиометра, определяют по формуле

$$h = 9,81(l_{\text{л}} - l_{\text{п}}), \quad (7.28)$$

где $l_{\text{л}}$ и $l_{\text{п}}$ - высота водяного столба соответственно по левому и правому коленям прибора.

Расход воздуха Q , м³/с, в выработке определяют по формуле

$$Q = vSk, \quad (7.29)$$

где v - измеренная скорость движения воздуха в выработке, м/с; S - площадь поперечного сечения выработки в месте замера скорости, м²; k - поправочный коэффициент (для замера способом "перед собой" $k = 1,14$).

Для замера скорости движения воздуха способом "в сечении" поправочный коэффициент k определяют по формуле:

$$k = (S - 0,4)/S. \quad (7.30)$$

Площадь поперечного сечения выработки определяют по следующим формулам (обозначения элементов сечения приведены на рис. 7.3):

для трапецевидной формы (рис. 7.3, а)

$$S = 0,5H(a + b); \quad (7.31)$$

для "коробового" свода (рис. 7.3, б)

$$S = ah + 0,78a(H - h); \quad (7.32)$$

для полуциркульного свода (рис. 7.3, в)

$$S = \pi a^2/8 + a(H - \frac{a}{2}); \quad (7.33)$$

для арочной (рис. 7.3, г и д)

$$S = \pi a^2/8 + (a + b)/2(H - a/2). \quad (7.34)$$

При деформированной крепи сечения разбивают на несколько простых фигур (рис. 7.3, е). Общее сечение выработки определяют путем суммирования площадей полученных фигур.

Аэродинамическое сопротивление выработки определяют по

формуле (7.10). Если в выработке имеются рассредоточенные утечки воздуха, то в формулу (7.10) подставляют среднее значение расхода воздуха

$$Q_{\text{ср}} = 0,5(Q_{\text{н}} + Q_{\text{к}}), \quad (7.35)$$

где $Q_{\text{н}}$ и $Q_{\text{к}}$ - расходы воздуха в выработке, замеренные соответственно в начале и в конце выработки, м³/с.

7.5. Проведение депрессионной съемки с помощью микробарометров

Могут применяться следующие виды депрессионных съемок микробарометрами:

маршрутная депрессионная съемка способом одновременных отсчетов в замерных станциях;

маршрутная депрессионная съемка способом последовательных отсчетов в замерных станциях;

групповая депрессионная съемка системы выработок.

Маршрутные депрессионные съемки проводятся по определенным направлениям движения вентиляционной струи. При групповой депрессионной съемке охватываются все выработки выемочного поля, крыла шахтного поля или шахты в целом.

При одновременном замере давления съемка ведется в следующем порядке. Один замерщик с микробарометром находится в начале выработки, второй - в ее конце. К штуцеру каждого микробарометра подсоединяют отрезок шланга длиной 3-5 м. На свободные концы шлангов надевают статические трубки. Последние располагаются в выработках так же, как и при съемке с помощью микроманометра. В условленное время замерщики снимают показания приборов через 20 с в течение 2,5-3 мин. В то же самое время замеряется скорость движения воздуха в выработке. С целью исключения ошибок через 5 мин измерения повторяют.

При способе одновременных отсчетов необходима предварительная рекогносцировка в горных выработках, так как нужно заранее знать местонахождение замерных станций и время следования к ним.

При способе последовательных отсчетов замеры давлений проводятся одним или несколькими приборами в любой последовательности (обычно исходя из наименьшей протяженности маршрутов). В этом случае замеры расходов воздуха и депрессий могут не совпадать по времени, поэтому необходимо регистрировать изменения давления для внесения поправок. Контрольная станция располагается в средней части маршрута. Давление в ней может фиксироваться микробарографами или теми же приборами, с помощью которых проводится депрессионная съемка. Все замеры давления и расходов воздуха выполняются через равные промежутки времени (5 или 10 мин). Целесообразно в

течение смены несколько раз менять расположение контрольной станции, приближая ее к месту выполнения замера. Это позволяет существенно снизить погрешность определения депрессий в выработках указанным способом. При способе последовательных отсчетов погрешность определения депрессии обычно выше, чем при способе одновременных отсчетов.

При групповой барометрической съемке в каждой группе замерных станций синхронно измеряют абсолютное движение и расход воздуха. Замерные станции располагают в узловых точках. Затем все замерщики переходят в другие, заранее оговоренные точки, и продолжают замеры. Преимущество последовательности способа - сравнительно короткий срок выполнения съемки. Групповые депрессионные съемки рекомендуется проводить на шахтах с большой протяженностью выработок (до 200-250 км) в выходные дни или в тот промежуток времени, когда режим проветривания шахты не изменяется.

При любом способе проведения барометрической депрессионной съемки измеряют температуру по сухому и влажному термометру. В вертикальных и наклонных выработках измерения проводят в точках, высотные отметки которых отличаются на 100 м. Эти данные используются при обработке результатов измерений.

Депрессию на местных сопротивлениях, перемычках, отдельных участках выработок малой протяженности измеряют микробарометром с резиновым шлангом. Последний прокладывают на измеренном участке, подсоединяют к микробарометру и снимают показания. Затем шланг отсоединяют от микробарометра и показания снимают повторно. Разность этих давлений будет равна депрессии в выработке. Недостаток описанного способа: за время между снятиями показаний со шлангом и без него давление в замерной станции может измениться. Поэтому вся операция должна быть выполнена быстро (не более 30 с).

Не реже одного раза в год микробарометры должны подвергаться проверке.

Независимо от вида съемки микробарометрами должна быть проведена сверка показаний приборов на поверхности и в околостольном дворе до начала работ в шахте и после их окончания. Для этого по установленным на одном уровне микробарометрам одновременно определяются давление воздуха и температура приборов. В качестве контрольного микробарометра может быть принят любой из используемых приборов, который характеризуется наиболее стабильными параметрами. Поправки, полученные при согласовании показаний приборов, учитываются при вычислении значений абсолютных давлений воздуха.

Изменения нулевых показаний микробарометров не должны превышать 60 Па в течение 1-2 мес. Резкие различия в показаниях приборов во время контрольных сверок свидетельствует об их неисправности. Такие приборы должны быть подвергнуты профилактическому ремонту и внеочередной проверке.

Депрессия в выработке при проведении съемки по способу одновременных отсчетов подсчитывается по формуле

$$h = p_n - p_k + 98,1\rho_{cp}(z_n - z_k) + 0,63(v_n^2 - v_k^2), \quad (7.36)$$

где p_n и p_k - давление воздуха соответственно в начале и конце выработки, Па; ρ_{cp} - средняя плотность воздуха выработки, кг/м³; z_n и z_k - абсолютные отметки замерных станций соответственно в начале и конце выработки, м.

При разности абсолютных отметок соседних замерных станций до 100 м средняя плотность воздуха в выработке находится из двух значений, полученных в начале и конце выработки. Плотность воздуха в замерной станции подсчитывается по формуле

$$\rho = 3,48p / (273 + t), \quad (7.37)$$

где p - абсолютное давление воздуха в замерной станции, кПа; t - температура воздуха в замерной станции, °С.

При разности абсолютных отметок соседних станций более 100 м учитывают также замеры, выполненные на промежуточных замерных пунктах и влажность воздуха. Плотность воздуха с учетом его влажности определяется по формуле

$$\rho = 3,48 \frac{p - 0,0038\varphi p_{нас}}{273 + t}, \quad (7.38)$$

где φ - влажность воздуха, %.

Давление сухого насыщенного пара $p_{нас}$ приведено ниже.

$T, ^\circ\text{C}$...	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30
$p_{нас}, \text{кПа}$...	0,13	0,2	0,29	0,42	0,61	0,87	1,23	1,71	2,34	3,18	4,25

Промежуточные значения $p_{нас}$ находятся интерполированием.

При депрессионной съемке по методу последовательных отсчетов депрессия, Па, в выработке подсчитывается по следующей формуле:

$$h = p_n - (p_k + \Delta p) + 98,1\rho_{cp}(z_n - z_k) + 0,63(v_n^2 - v_k^2). \quad (7.39)$$

Поправку на изменение давления воздуха Δp , Па, в период между измерениями в начале и конце выработки рассчитывают по формуле

$$\Delta p = p'_k - p''_k, \quad (7.40)$$

где p'_k и p''_k - давление воздуха, измеренное контрольным прибором во время снятия показаний рейсового микробарометра соответственно в начале (считая по ходу вентиляционной струи) и в конце выработки, Па.

Применение для депрессионной съемки микробарометров связано с большим объемом вычислительных работ. С целью экономии времени целесообразно использовать ЭВМ.

7.6. Обследование вентиляторных установок

Шахтная вентиляторная установка, как правило, состоит из самого вентилятора, канала вентилятора, привода, диффузора или всаса. Обследование вентиляторной установки или воздушно-депресссионных съемок следует начинать с изучения ее схемы для выяснения мест расположения ляд, шиберов, обводных каналов, входных тамбуров и ознакомления с имеющейся документацией. Затем визуально обследуют вентиляторную установку: устанавливают соответствие вентиляторов и двигателей имеющейся документации; проверяют наличие контрольно-измерительной аппаратуры и ее исправность, проверяют состояние надшахтного здания (целостность стен, перекрытий, дверей и др.), каналов вентилятора, атомосферных ляд и др. На основании полученной информации намечают пункты замеров давлений и расходов воздуха.

Давление потока в каналах вентилятора измеряют относительно атмосферного давления, т.е. определяют вентиляционное давление (в дальнейшем изложении краткости слово "вентиляционное" будет опущено).

В случае необходимости определяют статическую и динамическую составляющие полного давления потока. Следует отличать параметры давления, характеризующие вентиляционный поток, от сходных по названию параметров, характеризующих вентилятор.

В справочной литературе приводятся напорные характеристики вентиляторов или вентиляторных установок.

Полное давление всасывающего вентилятора состоит из давления, затраченного на преодоление сопротивления сети и динамического давления потока, выходящего из вентилятора. Та часть давления, которая затрачивается на преодоление сети, называется статическим давлением вентилятора. Динамическое давление потока на выходе из вентилятора в атмосферу называется динамическим давлением вентилятора. Эта энергия является полностью потерянной для основной работы, которую выполняет вентилятор. Поэтому практическое значение для проветривания шахты имеет статическое давление вентилятора, по которому в большинстве случаев строятся напорные характеристики вентиляторов. В литературе они называются статическими. Статическое давление всасывающих вентиляторов равно полному давлению потока в канале перед вентилятором.

Статическое давление вентиляторов, имеющих линию всасывания и линию нагнетания, является расчетной величиной, равной разности и динамического давлений вентилятора.

Аэродинамические характеристики вентиляторных установок строятся с учетом потерь давления на входных элементах вентиляторной установки (глушителей шума, диффузоре и др.). Часть давления, затрачиваемая на преодоление сопротивления сети, называется статическим давлением вентиляторной уста-

новки, под которым понимается полное давление потока в канале у вентилятора.

При обследовании всасывающих вентиляторных установок определяют:

полное давление потока в канале вблизи рабочего колеса вентилятора H_v ;

расход воздуха, проходящего в единицу времени через вентилятор Q_v ;

полное давление потока в месте сопряжения вентиляционного канала со стволом $h_{ш}$;

расход воздуха, поступающего в единицу времени из шахты $Q_{ш}$;

подсосы воздуха с поверхности в канал вентилятора $Q_{п}$;

угол установки лопаток у осевых вентиляторов и направляющего аппарата у центробежных;

частота вращения рабочего колеса вентилятора.

Полное давление потока в линии всасывания может быть определено двумя способами: в первом замеряется статическое давление потока у вентилятора $h_{ст}$ с помощью статической или пневмометрической трубки, из него вычитается скоростное давление, рассчитанное по средней скорости в месте замера давления; во втором - замеряется полное давление потока с помощью пневмометрической трубки, при этом шланг подсоединяют к штуцеру со знаком "плюс". Для определения полного давления следует замерить его в нескольких точках, расположенных равномерно по сечению, и вычислить среднее значение.

Для измерений давлений применяют микроанометры, микробарометры или U-образные водяные депрессиометры. Одни из этих приборов устанавливают на поверхности и соединяют со шлангом, протянутым в канал вентилятора.

Для замера Q_v выбирают ровный участок канала перед вентилятором. Расход воздуха определяют по средней скорости воздушного потока и площади поперечного сечения канала в месте замера скорости. Скорость воздушного потока определяют чашечным анемометром или пневмометрической трубкой. При замере скорости трубкой следует учитывать неравномерность поля скоростей потока, при этом сечение канала разбивают на 9-12 равных участков и в центре каждого измеряют скорость. При этом микроанометр устанавливают в канале вентилятора и оба штуцера пневмометрической трубки соединяют со штуцерами микроанометра, имеющими те же знаки. Среднюю скорость движения воздуха, м/с, рассчитывают по формуле

$$v = 1,28 \sqrt{h_{д-ср}}, \quad (7.41)$$

где $h_{д-ср}$ - среднее динамическое давление по сечению, Па.

Полное вентиляционное давление потока в месте сопряжения вентиляционного канала со стволом шахты $h_{ш}$ измеряется так же, как и у вентилятора. При замере шланг, соединенный с

прибором, протягивается через ляды (двери). Если устье перекрыто наглухо, то замер можно сделать, протянув шланг в щель без пневмометрической трубки.

Расход воздуха, выходящего из шахты $Q_{ш}$, измеряют в околоствольном дворе в выработках, по которым воздух поступает в ствол.

Подсосы воздуха в канал вентилятора определяются как разность между подачей вентилятора и расходом воздуха, выходящего из шахты, т.е.

$$Q_n = Q_v - Q_{ш} \quad (7.42)$$

Определяются подсосы воздуха через отдельные вентиляционные сооружения. Подсосы через надшахтное сооружение вентиляционного ствола измеряют непосредственно в устье ствола. Замер скорости движения воздуха проводят при остановленном подъеме в отделениях для прохода подъемных сосудов с помощью анемометра, укрепленного на шесте. Если замеры выполнить невозможно, то искомую величину подсосов воздуха находят как разность между расходом воздуха, измеренным в начале канала, и $Q_{ш}$. Измеряют подсосы также через обводной канал, резервный вентилятор и др.

Угол установки лопаток рабочего колеса проверяют по их положению относительно конкретных точек при открытых люках кожуха вентилятора.

На основании полученных замеров определяют сопротивления вентиляционного канала, путей подсосов и шахтной вентиляционной сети.

Сопротивление канала вентилятора определяется по формуле

$$R_k = (h_n - h_{ш}) / Q_v^2 \quad (7.43)$$

где R_k - сопротивление канала вентилятора, $H \cdot c^2 / m^8$; Q_v - средний расход воздуха в канале вентилятора, m^3 / c .

Сопротивление путей подсосов определяется по формуле

$$R_n = h_n / Q_n^2 \quad (7.44)$$

где h_n - депрессия на путях подсосов воздуха (принимается как среднее значение между $h_{ш}$ и h_n), Па.

Сопротивление шахтной сети определяется по формуле

$$R_{ш.с} = (h_{ш} \pm h_c) / Q_{ш}^2 \quad (7.45)$$

где h_c - естественная тяга, Па.

В формуле (7.45) принимается знак "плюс", если естественная тяга помогает работе вентилятора главного проветривания.

Сопротивление вентиляционной сети $R_{в.с}$ определяется так же как и сопротивление шахтной сети. В том случае, когда имеется напорная характеристика вентилятора, а не вентиляторной установки, при обследовании последней следует дополнительно замерить давление, затрачиваемое на преодоление

сопротивлений глушителя, выходного канала и выхода в атмосферу. В формулу (7.45) подставляется вместо $h_{ш}$ сумма потерь давления в линии всасывания и в линии нагнетания. При пользовании характеристикой вентиляторной установки потери давления в выходном канале и глушителе не измеряются, так как они входят в характеристику установки.

При значительном отставании точки, характеризующей режим работы вентилятора, от характеристики (50% и более по депрессии) следует проверить замеры и расчеты. Если ошибок не будет, то необходимо построить фактическую характеристику вентилятора и пользоваться ею при расчетах вентиляционной сети.

При обследовании нагнетательной вентиляторной установки замеряется полное давление потока перед вентилятором и за ним, т.е. в линии всасывания и в линии нагнетания. Линией всасывания нагнетательного вентилятора является калориферный канал и повороты.

Полное вентиляционное давление, затрачиваемое на преодоление сопротивления линии нагнетания, замеряется у диффузора вентилятора.

Полное давление нагнетательного вентилятора определяется из выражения

$$h_b = h_{вс} + h_n \quad (7.46)$$

где $h_{вс}$ и h_n - полное давление, затраченное на преодоление сопротивления соответственно линии всасывания и линии нагнетания.

Подача нагнетательного вентилятора замеряется перед вентилятором в линии всасывания. Точка режима работы нагнетательного вентилятора должна лежать в этом случае на его напорной характеристике, построенной с учетом динамического давления, так как последнее тратится на преодоление сопротивления сети. Если имеется характеристика вентилятора, построенная по статическому давлению, то она пересчитывается на характеристику по полному давлению прибавлением к ней динамического давления.

Если имеется характеристика нагнетательной установки, то следует замерить полное вентиляционное давление, затрачиваемое только на стороне нагнетания. Сопротивление линии всасывания в этом случае в расчетную схему не вводится.

При работе нескольких вентиляторов понятие "сопротивление сети" носит условный характер. Характеристика сети рассматриваемого вентилятора зависит не только от сопротивления выработок, но и режимов работы остальных вентиляторов. При изменении режимов их работы характеристика сети рассматриваемого вентилятора изменяется.

8. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ УТЕЧЕК ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ИЗОЛИРОВАННЫЕ УЧАСТКИ

8.1. Общие положения

Одним из способов тушения подземных пожаров является изоляция пожарного участка от действующих выработок специальными изоляционными сооружениями.

Изоляция производится с целью прекращения поступления свежего воздуха к очагу пожара. Этот способ тушения пожара применяется в тех случаях, когда отсутствуют безопасные подступы к очагу пожара; в пожарном участке произошел взрыв горючих газов и нельзя безопасно выполнить работы по его проветриванию; суммарное содержание горючих газов в пожарном участке достигло 2% при высоком содержании кислорода и предотвратить дальнейшее накопление горючих газов невозможно; имеющиеся средства пожаротушения не дают должного эффекта.

Продолжительность тушения пожара методом изоляции во многом зависит от степени герметизации аварийного участка. Чем качественнее выполнена изоляция, тем скорее наступает затухание пожара. Поэтому при разработке мероприятий по усилению герметизации участка необходимо знать величину утечек воздуха через него. Непосредственное измерение утечек воздуха в большинстве случаев невозможно из-за малой скорости движения воздуха в выработках, в которых установлены изоляционные перемычки. Величина утечек воздуха через перемычку составляет в большинстве случаев 5-15 м³/мин. При площади сечения выработки 10 м² скорость движения воздуха в ней составляет 0,008-0,025 м/с. В то же время анемометры, получившие распространение на практике (АСО-3, МС-13), не чувствительны к скорости менее 0,2-0,3 м/с. В связи с этим при определении утечек через изолированные пожарные участки применяются специальные методы, которые выбирают, исходя из конкретных условий.

Методы измерения утечек воздуха делятся на следующие две группы: методы измерения через отдельную перемычку и через изолированный участок в целом.

8.2. Методы измерения утечек воздуха через перемычки

Утечки воздуха через перемычку рекомендуется измерять с помощью вспомогательной перемычки.

Метод определения утечек воздуха с помощью вспомогательной перемычки с окном отличается простотой и заключается в следующем.

На поступающей струе на расстоянии 10-15 м от изоля-

ционной перемычки устанавливают вспомогательную, изготовленную из воздухонепроницаемой ткани или пленки. Вспомогательная перемычка должна иметь окно площадью сечения около 1 м². В нем анемометром измеряют скорость движения воздуха. Искомую величину утечек воздуха, м³/с, через изоляционную перемычку определяют по формуле

$$Q_{ут} = S_0 v, \quad (8.1)$$

где S_0 - площадь поперечного сечения окна, м²; v - скорость движения воздуха в окне, м/с.

Если воздух в изоляционный участок поступает через несколько перемычек, установленных в параллельных выработках, то следует определить воздухонепроницаемость каждой из них, а общую величину утечек воздуха получают суммированием указанных значений.

Рассмотренный метод измерения утечек имеет следующие недостатки:

невысокую точность, так как часть воздуха проходит за крепью выработки через тело перемычки и ближайшие трещины в боковых породах, минуя сечение окна, в котором производится замер;

низкую чувствительность, так как минимальный расход воздуха в выработке, который можно определить описанным способом, составляет 10-15 м³/мин.

Повысить чувствительность метода можно в небольших пределах посредством уменьшения площади окна. Однако это дополнительно снижает точность замеров, так как воздухонепроницаемость боковых пород становится соизмеримой с воздухонепроницаемостью окна перемычки. Практика показала, что при размерах окна менее 0,3×0,3 м фактическая величина утечек воздуха может превосходить измеренную в несколько раз.

Ниже приведены данные, полученные на шахте им. Румянцева ПО "Артемуголь", характеризующие величину погрешности. В квершлага находились две бетонитовые перемычки, причем одна перемычка была глухой, а в другой имелось окно размером 160×165 мм. Расстояние между перемычками составляло 30 м. Режим проветривания квершлага изменялся несколько раз. При каждом режиме анемометром измеряли скорость движения воздуха в окне и непосредственно в выработке на расстоянии 15 м от окна. Результаты замеров приведены ниже.

Номер эксперимента	1	2	3	4	5
Расход воздуха, м ³ /с:					
в окне q	0,177	0,235	0,25	0,338	0,437
в выработке Q	1,06	0,22	1,49	2	2,35
Q/q	6	5,4	6	5,9	5,4

Фактическая величина утечек воздуха превышала измеренную в 5-6 раз.

Метод определения утечек воздуха с помощью вспомогательной перемычки с двумя окнами свободен от отмеченных недостатков. В этом случае вспомогательная перемычка должна иметь два одинаковых окна. Одно из окон снабжается приспособлением, позволяющим герметично его закрывать. Материал перемычки - ткань или пленка.

Перед определением утечек воздуха вспомогательную перемычку навешивают примерно в 10-15 м от исследуемой (рис. 8.1). В одном окне анемометром измеряют скорость движения воздуха v_1 , второе окно при этом открыто. Затем второе окно закрывается, в результате чего скорость движения воздуха в первом окне увеличивается до v_2 . Значение последней также измеряют анемометром.

Используя полученные при замерах значения скоростей, вычисляют утечки воздуха через исследуемую перемычку

$$Q_{\text{ут}} = S_0 / (1/v_1 - 1/v_2), \quad (8.2)$$

где S_0 - площадь сечения окна, м^2 ; v_1 , v_2 - скорости движения воздуха, м/с .

Преимущества изложенного метода видны из следующего примера.

При применении вспомогательной перемычки с двумя окнами площадью сечения $0,1 \text{ м}^2$ получено $v_1 = 1,1$ и $v_2 = 1,3$. По формуле (8.2) определяем

$$Q_{\text{ут}} = 0,1 / (1/1,1 - 1/1,3) = 0,71 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Если же применить перемычку с одним окном площадью сечения $S_0 = 0,1 \text{ м}^2$, то $v = 1,3$. Тогда по формуле (8.1) находим.

$$Q_{\text{ут}} = 0,1 \cdot 1,3 = 0,13 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Как видим, в последнем случае величина утечек воздуха оказалась заниженной в 5,4 раза. Это объясняется тем, что не учитываются прососы воздуха через трещины в боковых породах и по периметру вспомогательной перемычки.

При выборе размеров окна вспомогательной перемычки следует учитывать следующее. Чем меньше размеры окон, тем меньшую величину утечек воздуха можно определить. Минимальная величина их подсчитывается по формуле

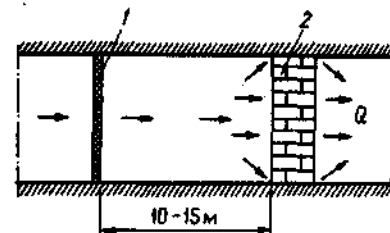


Рис. 8.1. Схема к определению утечек воздуха через изоляционную перемычку с помощью вспомогательной перемычки: 1 и 2 - соответственно вспомогательная и изоляционная перемычки

$$Q_{\text{ут}} = 2S_0 v_{\text{min}}, \quad (8.3)$$

где v_{min} - минимальная скорость, которую можно измерить применяемым анемометром, м/с .

Ниже приведены минимальные утечки воздуха, измеряемые крыльчатым анемометром АСО-3.

Размер стороны окна, м.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Утечки воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$	0,24	1,15	2,16	3,85	6	8,6

Размеры окна следует увязывать также с габаритами применяемого анемометра. При применении крыльчатого анемометра АСО-3 размер стороны окна не должен быть менее $0,1 \text{ м}$.

Для обеспечения точности измерений необходимо, чтобы после закрывания одного окна скорость движения воздуха в другом окне изменялась существенно. Изменение скорости будет

$$v_1/v_2 = (S_0 + S_x) / (2S_0 + S_x), \quad (8.4)$$

где S_x - суммарная площадь сечения всех каналов (неплотности за крепью или по периметру вспомогательной перемычки и др.), через которые помимо окон идет воздух, м^2 .

Влияние соотношений суммарной площади сечений всех каналов и площади сечения окна характеризуют следующие величины:

S_x/S_0	0,25	0,5	1	2	4	5	6	7	8	9
v_1/v_2	0,55	0,6	0,67	0,75	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91
v_2/v_1	1,82	1,67	1,49	1,35	1,2	1,17	1,13	1,12	1,11	1,1

Суммарная площадь сечений каналов фиксированного пункта замера является постоянной величиной. В этих условиях выгодно увеличивать сечение окна, так как чем оно больше, тем более существенно изменяется скорость движения воздуха в окне.

В шахте воздушный поток нестабилен. С учетом этого необходимо, чтобы скорость движения в окне изменялась не менее чем на 10%. Оптимальная площадь сечения окна

$$S_0 > 0,125 S_x. \quad (8.5)$$

Следовательно, вспомогательная перемычка должна удовлетворять противоречивым требованиям: для увеличения чувствительности метода сечение окна целесообразно уменьшать, а для повышения точности замеров - увеличивать. Поэтому задача должна решаться, исходя из конкретных условий. Рекомендуется при хорошем качестве изоляционных перемычек (движение воздуха в прилегающей выработке замерщиком не ощущается) принимать размер окна от $0,1$ до $0,2 \text{ м}$, при среднем качестве (движение воздуха замерщиком ощущается) от $0,2$ до $0,3 \text{ м}$.

Перемычка может быть изготовлена из любой легкой воздухо- непроницаемой ткани или пленки.

8.3. Методы измерения утечек воздуха через изолированный участок

Общую величину утечек через изолированный участок определяют одним из следующих методов:

- методом регулируемого сопротивления;
- методом замещения утечек воздуха инертным газом;
- по изменению депрессии участка в процессе его изоляции;
- по изменению содержания выделяющихся в изолированном участке газов.

Первые два метода обеспечивают наиболее высокую точность, при этом автоматически учитываются все утечки воздуха, в том числе и через все боковые породы (по периметру изолированного участка, кровлю и почву). Два последних метода обладают невысокой точностью и могут применяться лишь в тех случаях, когда первые два метода применить невозможно.

Метод регулируемого сопротивления базируется на взаимосвязи между величиной утечек воздуха через изолированный участок и депрессией изолирующих перемычек. Депрессия является параметром, характеризующим не только воздухопроницаемость перемычки, но и воздухопроницаемость всех боковых пород, окружающих изолированный участок. Кроме того, значение депрессии измеряется существующими приборами с достаточно высокой точностью.

На рис. 8.2 показана схема выемочного участка. После возникновения в лаве пожара участок был изолирован двумя перемычками. Перемычка 1 была установлена на откаточном штреке 2, а перемычка 4 - на вентиляционном штреке 3.

Сущность метода заключается в том, что сопротивление перемычки, расположенной на поступающей струе, уменьшают, что приводит к перераспределению депрессии на перемычках. По их изменению можно вычислить общую (суммарную) величину утечек воздуха через изолированный участок. Изменение сопротивления перемычки осуществляют открыванием трубы, которую специально прокладывают через перемычку при ее сооружении. Рекомендуемый диаметр трубы 0,1-0,2 м.

Определение утечек воздуха производится в следующем порядке:

при всех закрытых проемах и трубе микроанометром измеряют депрессию h_1 перемычки 1 и h_2 перемычки 3;

открывают трубу, это приводит к изменению депрессии обеих перемычек. Депрессия перемычки 1 уменьшается, а перемычки 3 - увеличивается. При этом необходимо следить за тем, чтобы депрессия перемычки 1 не стала меньше 4-6 Па. Значение депрессий h_1' и h_2' перемычек 1 и 3 измеряют при открытой трубе. Одновременно анометром измеряют скорость воздуха в трубе. Анометр располагается в плоскости среза трубы. Расход воздуха в трубе определяется по формуле

$$q = 0,85v, \quad (8.6)$$

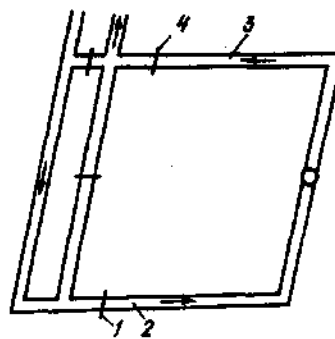


Рис. 8.2. Схема к определению утечек воздуха способом регулируемого сопротивления

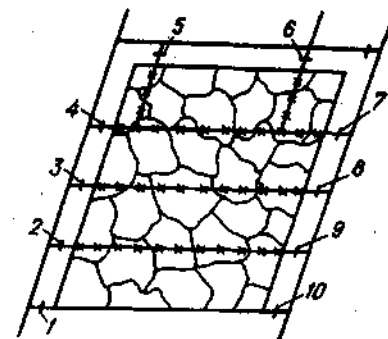


Рис. 8.3. Схема сложного изолированного участка

где q - расход воздуха в трубе, $\text{м}^3/\text{с}$; S - площадь поперечного сечения трубы в свету, м^2 ; v - скорость струи, измеренная анометром в трубе, $\text{м}/\text{с}$.

Если расход воздуха в трубе анометром невозможно измерить, он ориентировочно подсчитывается по формуле

$$q = \sqrt{h_1} D^2 / 0,15, \quad (8.7)$$

где D - диаметр трубы, м ; h_1 - депрессия перемычки 1 при открытой трубе, Па.

Формула (8.7) применяется при небольшой длине трубы (менее 3-4 м) и диаметре более 0,1 м.

Величина утечек воздуха через изолированный участок в нормальном положении (при закрытой трубе) подсчитывается по формуле

$$Q_{\text{гт}} = q\sqrt{ab} / (\sqrt{a} - \sqrt{b}), \quad (8.8)$$

где

$$a = h_1/h_1'; \quad b = h_2/h_2'. \quad (8.9)$$

После открывания трубы общее сопротивление изолированного участка уменьшается, а величина утечек воздуха через него возрастает. Увеличение утечки воздуха через изолированный участок вследствие открывания трубы можно оценить с помощью следующей формулы:

$$Q_{\text{гт}}' = Q_{\text{гт}}/\sqrt{b}, \quad (8.10)$$

где $Q_{\text{гт}}'$ - величина утечек воздуха через изолированный участок после открывания трубы, $\text{м}^3/\text{мин}$.

Данные табл. 8.1, полученные в аварийных условиях, характеризуют увеличение расходов воздуха вследствие открывания трубы.

Замер скорости движения воздуха в трубе может быть выполнен за 2-3 мин, а расход воздуха через изолированный участок увеличивается при этом обычно не более чем на 20%.

В результате состав газов в изолированном участке практически не изменяется.

На практике встречаются случаи, когда пожарные участки изолируют большим числом перемычек. Например, участок, показанный на рис. 8.3 изолирован десятью перемычками. Перемычки 1, 2, 3, 4, 5 и 6 являются воздухопринимающими, через них воздух поступает в изолированный участок. Перемычки 7, 8, 9 и 10 - воздуховыдающими.

В таких случаях замеры производят в двух перемычках - одной воздухопринимавшей, через которую проложена труба и одной воздуховыдающей. При этом следует учитывать, что погрешность будет минимальной в тех случаях, если замеры производятся на характерных перемычках. Характерной воздухопринимавшей (воздуховыдающей) называется такая перемычка, депрессия которой близка к средней депрессии воздухопринимавших (воздуховыдающих) перемычек.

При замере утечек воздуха способом регулируемого сопротивления могут встретиться два крайних случая:

после открывания трубы депрессия перемычек не изменяется (или изменяется незначительно);

после открывания трубы депрессия перемычки, через которую проложена труба, снижается до нуля.

Первый случай свидетельствует о крайне низкой степени изоляции. В этом случае величина утечек составит

$$Q_{\text{ут}} \geq 40q. \quad (8.11)$$

Во втором случае величину утечек определяют по формуле

$$Q_{\text{ут}} = 1,2q. \quad (8.12)$$

Пример 1. Определить расход воздуха через изолированный участок (см. рис. 8.2), если $h_1 = h_2 = 50$ Па, $h'_1 = 22$ Па, $h'_2 = 79$ Па, $S = 0,078$ м², $v = 1,3$ м/с.

Решение. По формуле (8.6) находим расход воздуха в трубе

Т а б л и ц а 8.1

Изменение параметров изолированных участков

Шахта	Депрессия, Па		b	Утечки воздуха, м ³ /мин		Q'_{\text{ут}}/Q_{\text{ут}}
	h_2	h'_2		Q_{\text{ут}}	Q'_{\text{ут}}	
"Брянковская"	490	525	1,07	59	61	1,03
Им. Румянцева	108	146	1,37	82	96	1,17
"Новатор"	230	278	1,21	77	85	1,1
"Байдаевская"	35	40	1,14	65	69	1,06

$$a = 0,8 \cdot 0,078 \cdot 1,3 = 0,082 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По формуле (8.9) вычисляем значения a и b

$$a = 50/22 = 2,27, \quad b = 50/79 = 0,632.$$

По формуле (8.8) определяем утечки воздуха через изолированный участок

$$Q_{\text{ут}} = 0,082 \frac{\sqrt{2,27 \cdot 0,632}}{\sqrt{2,27} + \sqrt{0,632}} = 0,138 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход воздуха через изолированный участок при открытой трубе подсчитываем по формуле (8.10)

$$Q_{\text{ут}} = 0,138/\sqrt{0,632} = 0,17 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Другим методом измерения утечек воздуха через изолированный участок является *метод замещения*. Он основан на принципе изменения давления воздуха внутри изолированного участка при подаче в него инертного газа (азота, углекислоты и др.). При этом утечки воздуха замещаются инертным газом. Изменение давления воздуха внутри изолированного участка приводит к изменению перепадов давлений на перемычках, что можно легко зафиксировать существующими приборами.

Основные преимущества метода замещения по сравнению с методом регулируемого сопротивления следующие:

во время определения величины утечек воздуха поступление кислорода в изолированный участок не только не увеличивается, а, наоборот, уменьшается;

имеется возможность дистанционного замера и контроля утечек воздуха через изолированный участок.

Основной недостаток метода - необходимо иметь инертный газ. В тех случаях, когда инертный газ планируется использовать для тушения пожара или предотвращения взрывов в изолированном участке, то указанный недостаток становится несущественным.

Практически описываемый метод определения утечек воздуха через изолированный участок осуществляется следующим образом. К трубе 4 (рис. 8.4) подсоединяют баллон с газом 8 (или монтируют трубопровод, если газ предполагается подавать по нему). Затем устанавливают вспомогательное оборудование для

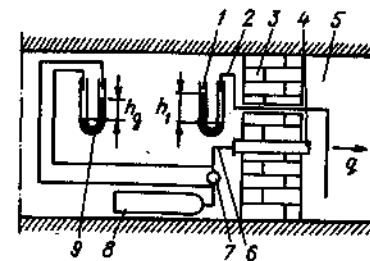


Рис. 8.4. Схема к определению утечек воздуха способом замещения инертным газом

измерения депрессии перемычек и количества подаваемого инертного газа. Депрессию перемычки измеряют микроманометром или депрессиомером 1 (2 - трубка депрессиомера). Расход инертного газа в трубе 6 может быть измерен с помощью воздухомерной трубки и микроманометра 9 или определен по величине потери депрессии на специальной диафрагме 7, установленной в трубопроводе. Непосредственно перед выпуском инертного газа измеряют депрессию перемычки 3. Затем осуществляют выпуск инертного газа в изолированный участок 5. Интенсивность выпуска (расход газа в единицу времени) инертного газа подбирают такой, чтобы депрессия воздухоподающей перемычки стала равна нулю.

В этот момент фиксируют показания приборов, измеряющих депрессию воздухоподающей перемычки и расход инертного газа в трубе.

Величину утечек воздуха через изолированный участок в нормальном положении (при закрытой трубе 4) подсчитывают по формуле

$$Q_{ут} = q\sqrt{h_2/(h_1 + h_2)}, \quad (8.13)$$

где q - расход инертного газа в трубе, м³/с; h_1 и h_2 - депрессия перемычек соответственно 1 и 2 непосредственно перед выпуском инертного газа, Па.

Если участок изолирован большим числом перемычек, то замеры выполняются на двух перемычках - одной воздухопринимающей, через которую проложена труба, и одной воздухоподающей.

Принципы выбора перемычек для замеров изложены в разд. 8.3.

Интенсивность подачи инертного газа, при которой депрессия воздухоподающей перемычки равна нулю, является оптимальной, так как при этом полностью устраняются утечки воздуха через изолированный участок. В зависимости от соотношения фактической и оптимальной подачи инертного газа возможны, кроме рассмотренного, также случаи, когда фактическая интенсивность подачи инертного газа меньше или больше оптимальной.

В первом случае депрессия воздухоподающей перемычки уменьшается, а воздухоподающей увеличивается. При этом для определения утечек воздуха используется зависимость (8.8), а для определения коэффициента a и b измеряют депрессию перемычек до выпуска инертного газа (при закрытой трубе 4).

Остаточные (не замещенные) утечки воздуха через изолированный участок во время выпуска инертного газа определяют по формуле

$$q_{ут} = q_r / (\sqrt{a/b} - 1). \quad (8.14)$$

Коэффициенты a и b определяют по формуле (8.9)

При крайне низком качестве изоляции аварийного участка

или недостаточной подаче инертного газа может оказаться, что депрессии перемычек практически не изменяются. В этом случае величину утечек воздуха через изолированный участок оценивают с помощью выражения (8.11).

Если подача инертного газа превышает оптимальную величину, то перемычка 1 начинает выдавать газозоудушную смесь, что затрудняет проведение работ по определению утечек воздуха. В этом случае следует уменьшить подачу инертного газа доведя ее до оптимального значения.

Пример 2. Определить величину утечек воздуха через изолированный пожарный участок, если $h_1 = 80$ Па, $h_2 = 125$ Па, расход инертного газа в трубе $q = 0,075$ м³/с. Депрессия перемычки 3 (см. рис. 8.4) равна нулю.

Решение. По формуле (8.13) находим

$$Q_{ут} = 0,075\sqrt{125/(80 + 125)} = 0,059 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Пример 3. Определить величину утечек воздуха через изолированный пожарный участок до и во время запуска инертного газа, если $h_1 = 50$ Па, $h_2 = 70$ Па, $q = 0,05$ м³/с, $h_1 = 20$ Па, $h_2 = 100$ Па.

Решение. По формуле (8.9) вычисляем значения коэффициентов a и b

$$a = 50/20 = 2,5; \quad b = 70/100 = 0,7.$$

По формулу (8.8) определяем утечки воздуха до начала выпуска инертного газа

$$Q_{ут} = 0,05\sqrt{2,5 \cdot 0,7 / (\sqrt{2,5} - \sqrt{0,7})} = 0,089 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По формуле (8.14) находим утечки воздуха через изолированный участок во время выпуска из него инертного газа

$$q_{ут} = \frac{0,5}{\sqrt{2,5/0,7} - 1} = 0,057 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В отдельных случаях может найти применение метод определения утечек воздуха через изолированный участок по изменению его депрессии в процессе изоляции. Для этого наблюдение за аварийным участком необходимо вести в течение длительного промежутка времени, начиная с момента подготовки его к изоляции. Величину утечек воздуха определяют по изменению депрессии участка. Работу выполняют в следующем порядке. Перед возведением перемычек определяют депрессию участка H_1 и расход воздуха в нем Q_1 . После возведения перемычек измеряют при открытых проемах расход воздуха Q_2 и депрессии перемычек (со стороны поступающей струи h_1 , со стороны исходящей h_2). Депрессия участка при открытых проемах и перемычках определяется по формуле

$$H_2 = h_1 + h_2 + H_1(Q_2/Q_1)^2. \quad (8.15)$$

После закрытия проемов в перемычках определяют новое значение депрессии участка по формуле

$$H_3 = h'_1 + h'_2, \quad (8.16)$$

где h'_1 и h'_2 - депрессии перемычек, расположенных со стороны

соответственно поступающей струи при закрытом проеме и исходящей струи, Па.

Величину утечек воздуха через аварийный участок при закрытых проемах определяют по формуле

$$Q_{ут} = \frac{Q_2(H_2 - H_1) - Q_1(H_3 - H_2)}{H_2 - H_1} \quad (8.17)$$

Преимущество описанного метода - возможность дистанционного замера утечек воздуха (замерщик с микроманометром может быть удален от изолированного участка на расстояние 500-100 м, а иногда и более), недостаток - меньшая точность по сравнению со способом регулируемого сопротивления и способом замещения.

Метод рекомендуется применять в тех случаях, когда шахта характеризуется стабильным проветриванием, при котором не изменяются режим работы вентиляторов главного проветривания и сопротивления горных выработок (за исключением тех, где возводятся изолирующие перемиčky), а также незначительно изменяется тепловая депрессия пожара.

Пример 4. Определить утечки воздуха через пожарный участок. Результаты замеров депрессий, Па: $H_1 = 51$, $h_1 = 46$, $h_2 = 44,5$, $h'_1 = 174$, $h'_2 = 3,5$. Результаты замеров воздуха, м³/с: $Q_1 = 5,5$; $Q_2 = 3,4$.

Решение. По формуле (8.15) находим

$$H_2 = 46 + 44,5 + 51(3,4/5,5) = 110 \text{ Па.}$$

По формуле (8.16) определяем

$$H_3 = 174 + 3,5 = 177,5 \text{ Па.}$$

По формуле (8.17) находим величину утечек воздуха

$$Q_{ут} = \frac{3,4(177,5 - 51) - 5,5(177,5 - 110)}{110 - 51} = 0,98 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Метод определения утечек воздуха через изолированный участок по изменению содержания в нем выделяющихся газов можно применять преимущественно на шахтах, опасных по выделению метана.

После изоляции выемочного участка содержание метана в воздушном потоке, выходящем из него, растет. Через некоторое время (обычно десятки часов) содержание метана в исходящей струе стабилизируется на некотором уровне. Величина утечек воздуха через участок в этот период может быть определена по формуле

$$Q_{ут} = Q_n C_n / C, \quad (8.18)$$

где Q_n - расход воздуха на участке в нормальном режиме проветривания, м³/с; C_n - содержание метана в исходящей струе в нормальном режиме проветривания, %; C - то же после изоляции участка в установившемся режиме проветривания.

Точность метода невелика. Это связано с тем, что метановыделение в изолированном участке не остается постоянным, а часть метана при пожаре может сгорать.

Пример 5. В нормальном режиме проветривания расход воздуха на выемочном участке составил 8 м³/с, а содержание метана в исходящей струе - 0,5%. Через 48 ч после изоляции участка содержание метана стабилизировалось на уровне 22%. Требуется определить величину утечек воздуха.

Решение. По формуле (8.18) находим

$$Q_{ут} = 80,5/22 = 0,18 \text{ м}^3/\text{с.}$$

8.4. Снижение утечек воздуха через изолированные пожарные участки

На угольных шахтах депрессия изолированных пожарных участков может достигать 3000-4000 Па. Под ее действием даже при хорошем качестве изолирующих перемичек прососы воздуха нередко достигают 20-30 м³/мин. Поэтому в изолированных участках долго не прекращается горение и может сохраняться взрывоопасная среда. С целью устранения угрозы взрыва часто заполняют участок инертным газом. Однако при наличии значительных прососов воздуха инертная среда сохраняется не продолжительное время.

Снижение утечек воздуха через изолированные пожарные участки в настоящее время достигается следующими двумя методами:

уменьшением приходящейся на изолированный участок депрессии вентилятора главного проветривания (метод снятия депрессии);

выравниванием давления воздуха на изолирующих перемичках.

Снятие депрессии осуществляется путем перераспределения депрессии в вентиляционной сети или изменением режима работы (вплоть до остановки) вентилятора главного проветривания. Метод имеет ограниченную область применения, так как с его помощью в большинстве случаев невозможно устранить вредное влияние тепловой депрессии и гравитационного напора метана.

Выравнивание давления воздуха на изолирующих перемичках достигается с помощью специальных мер. Давление в камерах устанавливается таким, чтобы депрессия на изолирующих перемичках равнялась нулю. Для выравнивания давления может использоваться энергия вентилятора главного проветривания или энергия специально установленных вентиляторов местного проветривания. Иногда вместо последних используют эжекторы.

Камеры выравнивания давления могут быть устроены как на свежей струе, так и на исходящей.

Снятие депрессии созданием вентиляционного подпора в камере, установленной со стороны исходящей струи, за счет общешахтной депрессии осуществляется следующим образом. На расстоянии 5-10 м от изоляционной перемички 1 (рис. 8.5) устанавливают дополнительную перемичку 2 временного типа. Для контроля депрессии изоляционной перемички прокладывают две трубки 4 и 5, одну трубку прокладывают через основную и дополнительную перемички, вторую - только через дополни-

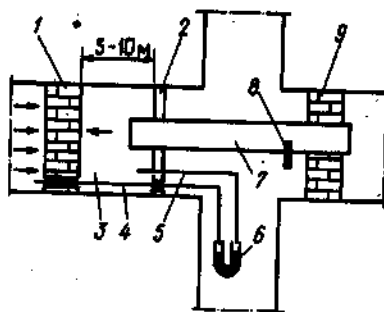


Рис. 8.5. Конструкция камеры выравнивания давления

тельную. Концы трубок располагают на расстоянии примерно 0,5 м от изоляционной перегородки. Другие концы трубок присоединяются к микроманометру 6 или депрессиомеру.

Из выработки со свежей струей воздуха через изоляционную перегородку 9 в камеру выравнивания давления 3 прокладывают воздухоподающий трубопровод 7 с установленной в нем дроссельной заслонкой 8 для регулирования расхода воздуха. В результате поступления воздуха через трубопровод давление в камере повышается. Регулируя с помощью заслонки 8 расход воздуха в нем, добиваются нулевого показания прибора.

При практическом применении описанного метода снятия депрессии с изолированного участка следует стремиться к тому, чтобы воздухопроницаемость дополнительной перегородки была минимальной, а трубопровод был короче.

Условие снятия депрессии с изолированного участка

$$h_{тр} \pm h_r < H_1, \quad (8.19)$$

где $h_{тр}$ - депрессия воздухоподающего трубопровода, проложенного в камеру выравнивания давления, Па; h_r - тепловая депрессия, действующая на аварийном участке, (знак "плюс", если тепловая депрессия помогает работе вентилятора главного проветривания, знак "минус" - если тепловая депрессия действует в противоположном направлении), Па; H_1 - разность вентиляционных давлений (депрессия) между концом трубопровода, находящемся на свежей струе, и перегородкой А (т.е. депрессия участка 1-2-3-4, рис. 8.5, а), Па.

Диаметр трубопровода рекомендуется принимать в пределах 0,6-1,2 м. Затем производится проверочный расчет в следующем порядке.

Задавшись расходом воздуха через дополнительную перегородку (в пределах 2-5 м³/с в зависимости от свойств перегородки и боковых пород), определяют расход воздуха в трубопроводе

$$Q_{тр} = k_{ут} Q_{пер}, \quad (8.20)$$

где $k_{ут}$ - коэффициент, учитывающий утечки воздуха в трубопроводе (принимается 1,2-1,5); $Q_{пер}$ - расход воздуха через

дополнительную перегородку и боковые проходы, примыкающие к камере, м³/с.

Определяют потери депрессии в трубопроводе

$$h_{тр} = 6,5 \alpha \frac{L}{D^5} Q_{тр}^2, \quad (8.21)$$

где α - коэффициент аэродинамического сопротивления (для металлических труб $\alpha = 0,005 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$, для матерчатых $\alpha = 0,007 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$); L - длина трубопровода, м; D - диаметр трубопровода, м.

Выполнение условия снятия депрессии проверяют, исходя из формулы (8.19). Если неравенство не соблюдается, то следует либо увеличить диаметр трубопровода, либо применить дополнительный источник тяги (вентилятор местного проветривания или эжектор).

Пример 1. Проверить пригодность металлических труб диаметром 0,6 м для камеры выравнивания давления, если длина трубопровода $L = 50$ м, величина утечек воздуха через изолированный участок $Q_{ут} = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, потеря депрессии по маршруту 1-2-3 (см. рис. 8.5) $h_2 = 120$ Па, тепловая депрессия $h_r = 50$ Па.

Решение. Принимаем, что потери воздуха в камере составят 180 или 3 м³/с, а коэффициент $k_{ут} = 1,2$. Тогда расход воздуха в трубопроводе

$$Q_{тр} = 1,2 \cdot 3 = 3,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По формуле (8.21) вычисляем потери депрессии в трубопроводе

$$h_{тр} = 6,5 \cdot 0,005 \cdot 50 / 0,6^5 \cdot 3,6^2 = 210 \text{ Па}.$$

Условие (8.19) не выдерживается, так как $210 + 50 > 120$, следовательно, при данной схеме не обеспечивается выравнивание депрессии на перегородке.

Принимаем диаметр трубопровода 1 м, тогда

$$h_{тр} = 6,5 \cdot 0,005 \cdot 50 / 1^5 \cdot 3,6^2 = 21,5 \text{ Па}.$$

В данном случае

$$21,5 + 50 < 120,$$

т.е. при диаметре трубопровода 1 м обеспечивается выравнивание депрессии.

В отдельных случаях создание подпора со стороны исходящей струи связано с определенными трудностями. Поэтому снятие депрессии на пожарном участке производят путем создания разрежения со стороны поступающей струи. Для этого у изоляционной перегородки, возведенной в воздуховыдающем штреке, устанавливают дополнительную перегородку, образующую камеру выравнивания давлений, и осуществляют мероприятия, аналогичные описанным выше. Из камеры выравнивания давлений прокладывают вентиляционный трубопровод в выработку с исходящей струей.

Условие снятия депрессии имеет вид

$$h_{тр} \pm h_r < H_2, \quad (8.22)$$

где H_2 - суммарная депрессия воздуховыдающих выработок по

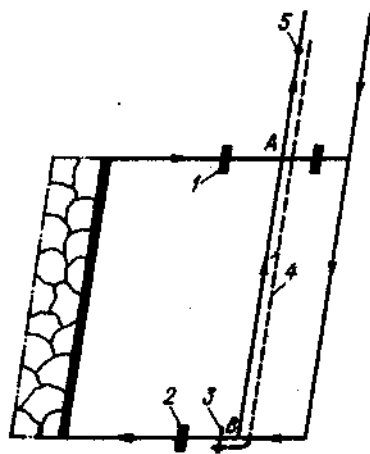


Рис. 8.6. Схема изолированного участка с камерой выравнивания давления у перемычки, принимающей воздух:
1 и 2 - изоляционные перемычки; 3 - дополнительная перемычка; 4 - трубопровод;
5 - место установки вентилятора

маршруту от изоляционной перемычки, установленной на вентиляционном горизонте, до места расположения конца воздуховыдающего трубопровода, Па.

В качестве примера на рис. 8.6 приведена схема выемочного участка, изолированного перемычками 1 и 2. Применительно к нему условие снятия депрессии можно выразить

$$h_{тр} + h_r \leq h_{A-B}, \quad (8.23)$$

где h_{A-B} - депрессия участка А-В, Па.

Если условие (7.22) выполнить невозможно, то следует использовать эжекторы или вентиляторы, которые подсоединяются к концу трубопровода, расположенному в точке 5. Регулирование системы и контроль параметров осуществляется так же, как и в предыдущем разделе.

При разработке мероприятий по снижению утечек воздуха через изолированные участки предпочтение должно отдаваться методам, не требующим применения дополнительных специальных источников тяги (вентиляторов местного проветривания, эжекторов). В этом случае возможен лишь периодический контроль вентиляционного режима на пожарном участке, так как всякие изменения депрессии вентиляционной струи сопровождаются аналогичными изменениями депрессии на пожарном участке. При снятии депрессии с помощью дополнительных источников тяги необходим постоянный контроль вентиляционного режима для исключения возможности опрокидывания утечек воздуха через очаг пожара и попадания ядовитых газов в свежую струю.

8.5. Компенсационный метод снижения утечек воздуха

Практика показала, что надежная изоляция аварийного участка достигается лишь в том случае, если перемычки устанавливаются в целиках угля. Чтобы выполнить указанное условие, например, при бесцеликовой выемке угля перемычки приходится устанавливать на значительном расстоянии от очага пожара (нередко в районе околоствольного двора). При этом оказываются законсервированными большое количество горных выработок, очистных и подготовительных забоев. Такие же результаты получают в условиях, когда изолированный участок оконтурен целиками, имеющими сеть трещин в результате влияния горного давления.

Предпринимались попытки сокращения объема изолированных выработок, используя методы выравнивания давления, описанные в разд. 8.4. Но предпринимаемые меры не давали желаемых результатов. В качестве примера рассмотрим выемочный участок одной из шахт Донбасса (рис. 8.7). Лава отрабатывается прямым ходом, расстояние от нее до разрезной печи составляет 1100 м. свежий воздух в лаву подавался по откаточному штреку, отработанный выводился по вентиляционному. Участок оконтурен целиками угля. Из-за влияния горного давления в них образовалась сеть трещин. Утечки воздуха через трещины носят рассредоточенный характер, но для наглядности на рис. 8.7 они показаны эквивалентными ветвями 1-6. Сопротивление последних примерно на четыре порядка превышало сопротивление действующих выработок, поэтому они не оказали заметного влияния на условия проветривания выемочного участка до аварии.

После возникновения в лаве пожара выемочный участок был изолирован перемычками 7 и 8. В результате аэродинамические сопротивления трещин в целиках оказались соизмеримыми с сопротивлениями перемычек. Выполненные замеры и моделирование аварийного участка на ЭВМ показали следующее. После сооружения перемычек в изолированный участок поступало 49 м³/мин свежего воздуха, из них 28 м³/мин через трещины в боковых породах. Через лаву, где был очаг пожара, проходило

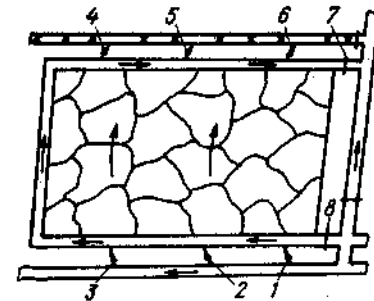


Рис. 8.7. Схема изолированного выемочного участка:
1-6 - пути утечек; 7, 8 - изоляционные перемычки

воздуха 42 м³/мин. Для снижения утечек воздуха через изолированный участок был применен метод выравнивания давления. В 20 м от перемычки 7 была установлена вспомогательная. В образовавшуюся камеру вентилятором местного проветривания нагнетался воздух. Давление в камере было установлено таким, чтобы депрессия перемычки 7 стала равна нулю. Этим были полностью устранены утечки воздуха через нее. В результате этой меры утечки воздуха через изолированный участок снизились с 49 до 44 м³/мин. Затем камера выравнивания давления была сооружена у перемычки П₁. После выравнивания давления воздуха на обеих перемычках утечки воздуха составил 40 м³/мин, при этом расход воздуха в лаве 36 м³/мин. Таким образом, в рассматриваемых условиях метод выравнивания давления не дает желаемых результатов.

Компенсационный метод снижения утечек воздуха позволяет получить лучшие результаты. Сущность его заключается в следующем. Через перемычку 7 (см. рис. 8.7) прокладывают трубу и через нее в изолированное пространство подают определенное количество воздуха. В результате этой меры давление воздуха в изолированном участке повышается. Регулируя давление, можно установить такую его величину, что расход воздуха в районе очага пожара будет равен нулю. При этом поступление воздуха в изолированный участок через перемычку и ветви 1, 2 и 3 сократится. Воздух, подаваемый по трубе кратчайшим путем через перемычку 7 и трещины в боковых породах 4, 5 и 6 будут выходить в общую исходящую струю.

Об эффективности метода можно судить по результатам моделирования на ЭВМ режимов проветривания изолированного участка. Результаты приведены в табл. 8.2.

Из табл. 8.2 видно, что расходы воздуха в выработках

Таблица 8.2

Расходы воздуха в изолированном участке, м³/мин

Пункты замера	Расход воздуха в трубе, м ³ /мин					
	0	18	38	58	62	82
Откаточный штрек (середина)	41	20	12	3	2	-10
Лавы	42	30	16	2	0	-9
Вентиляционный штрек (середина)	38	23	4	0,3	-0,2	-26
Выработанное пространство (полоса шириной 400 м, прилегающая к лаве)	3	2,2	1,1	0,1	-0,1	-2,3
На выходе из изолированного участка (через перемычку П ₂ и трещины)	49	62	71	79	82	89

Примечание. Знак "минус" в таблице показывает, что направление движения воздуха изменилось на противоположное.

изолированного участка зависят от расхода воздуха в трубе. Так, при увеличении последнего с 0 до 58 м³/мин, расход воздуха в лаве уменьшается в 21 раз (с 42 до 2 м³/мин). Одновременно расходы воздуха в откаточном и вентиляционном штреках уменьшились соответственно в 13 и 126 раз. Аналогичным образом изменилась скорость движения воздуха в выработанном пространстве. Увеличивая расход воздуха в трубе и, следовательно, его давление в изолированном участке, можно добиться, что движение воздуха в лаве полностью прекратится. Как видно из табл. 8.2, это происходит при расходе воздуха в трубе 62 м³/мин. При этом направление движения воздуха в вентиляционном штреке и выработанном пространстве изменяется на противоположное. Дальнейшее увеличение расхода воздуха в трубе приводит к опрокидыванию воздушных потоков во всех выработках изолированного участка ("перекompенсация" утечек воздуха).

Для создания нулевого расхода в конкретной выработке изолированного участка по трубе должен подаваться оптимальный расход воздуха. В принципе каждая выработка характеризуется своим оптимальным расходом. Однако при решении практических вопросов изолированный участок рассматривается как единое целое. При этом оптимальным является такой расход в трубе, при котором утечки воздуха через изолированный участок минимальные.

Оптимальный расход воздуха, который следует подавать в изолированный участок по трубе, определяют по формуле

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{т}} \sqrt{(h_1 + h_2)/h_2},$$

где $Q_{\text{т}}$ - величина утечек воздуха через изолированный участок до принятия мер по их снижению, м³/мин; h_1 и h_2 - депрессии соответственно перемычек 8 и 7 (см. рис. 8.7), Па.

Подача воздуха в изолированный участок может осуществляться за счет общешахтной депрессии или с помощью вентилятора местного проветривания. В обоих случаях трубопровод должен снабжаться специальным приспособлением, с помощью которого можно регулировать в нем расход воздуха.

Депрессия перемычки, расположенной на откаточном штреке, является параметром, по которому регулируют подачу воздуха в изолированный участок. Оптимальному его расходу соответствует нулевая депрессия перемычки.

На рис. 8.8 показан один из возможных вариантов расположения оборудования. Подача воздуха в участок производится по трубопроводу 1 от вентилятора 2. Депрессиомер 4 для удобства работы рекомендуется устанавливать в непосредственной близости от регулятора расхода воздуха. От депрессиомера 4 до перемычки 5 прокладывают две трубки 3. Конец одной из них укладывают перед перемычкой, а другой - за ней.

О процессах, происходящих в изолированном участке, обычно

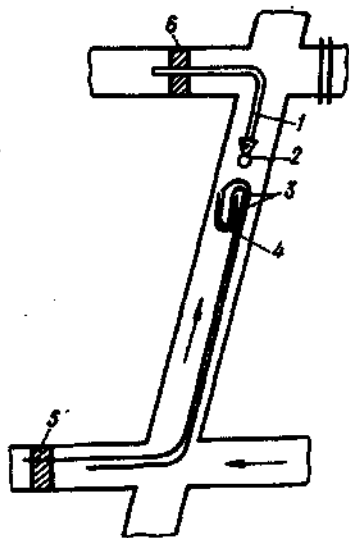


Рис. 8.8. Схема подачи воздуха в изолированный участок

судят по пробам, отобранным из-за воздуховыдающей перемычки 6. При применении компенсационного метода из-за перемычки выходит в основном свежий воздух. Поэтому накануне возведения изоляционных перемычек 5 и 6 по вентиляционному штреку следует проложить трубопровод для отбора проб. Концы трубопровода следует разместить по возможности ближе к очагу пожара. Об эффективности борьбы с утечками воздуха судят по содержанию кислорода в отбираемых пробах.

9. РАСЧЕТ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

9.1. Общие положения

Расчет вентиляции шахты в случае возникновения подземной аварии при наличии полной информации об аэродинамических параметрах шахтной сети (материалов депрессионной съемки) существенно не отличается от подобного расчета в нормальных условиях, за исключением того, что дополнительно вводятся аварийные источники тяги. Однако на момент аварии такая информация во многих случаях отсутствует, поскольку депрессионные съемки проводятся с интервалом около 3 лет и данные о параметрах сети устаревают, а на пополнение и уточнение их требуются большие затраты времени. В аварийных же условиях расчет должен быть выполнен в сжатые сроки, в

связи с этим возникает необходимость в определении минимального, но достаточного объема информации для расчета и выборе провентрирования выработок шахты.

Исходными данными для расчета являются схема вентиляции, аэродинамические параметры (депрессия, расход воздуха, аэродинамическое сопротивление) выработок, а также параметры источников тяги.

Работу начинают с составления расчетной схемы вентиляции. Расчетная схема одной и той же шахты в зависимости от места расположения очага пожара и решаемых задач может иметь разный вид. В зависимости от конкретных задач можно выделить несколько характерных случаев.

Если требуется определить эффективность мероприятий, выполняемых на поверхности шахты (например, регулирование вентиляторов главного проветривания, изменение внешних подсосов воздуха, включение вентиляторов на параллельную работу и др.), то при составлении расчетной схемы вся шахтная сеть заменяется одной эквивалентной ветвью. Детализируется только канал вентилятора и пути поверхностных утечек воздуха. На рис. 9.1 в качестве примера показана схема проветривания шахты. Требуется определить влияние дополнительной герметизации надшахтного здания (ветвь 1-9) на подачу воздуха в шахту. Ветвь 1-7-9 заменяет вентиляционную сеть всей шахты, ветви 9-10 и 10-В - участки канала вентилятора, ветвь 1-9 - пути утечек воздуха через устье вентиляционного ствола, ветвь 1-10 - пути утечек воздуха через свободный канал.

Если требуется определить эффективность мероприятий, осуществляемых в начале шахтной сети (в околоствольном дворе, в выработках главного направления и др.), то отдельные выемочные поля, а иногда и крылья шахты на расчетной

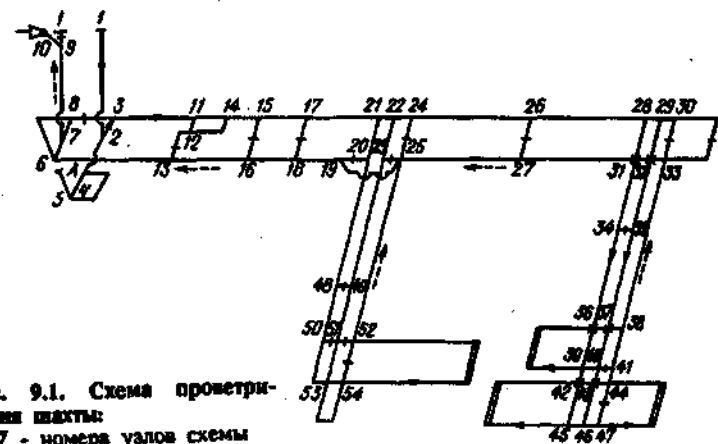


Рис. 9.1. Схема проветривания шахты:
1-47 - номера углов схемы

схеме изображают эквивалентными ветвями. При ее составлении производят упрощения, связанные с объединением параллельных и последовательных ветвей. Ветви, которыми регулируют воздухораспределение в шахтной сети, не должны объединяться с другими ветвями. Например, для шахты, показанной на рис. 9.1, требуется определить расход воздуха в северном коренном штреке (участок 3-11) после закорачивания вентиляционной струи через вентиляционную дверь (ветвь 3-8). Здесь общее сопротивление подземных выработок от точки 3 северного коренного штрека до точки 6 главного вентиляционного ствола заменяем ветвью 3-6.

Если необходимо определить эффективность мероприятий, осуществляемых, например, в пределах выемочных полей, то требуется большая степень детализации расчетной схемы. В результате этого последняя содержит большое число ветвей, что, в свою очередь, требует значительных затрат времени на подготовку исходной информации (включая проведение депрессионной съемки), сам расчет и анализ полученных данных. В таких случаях рекомендуется применять метод напорных характеристик или метод затухания возмущений воздухораспределения. С их помощью можно существенно упростить расчетную схему и сократить требуемый объем исходной информации.

9.2. Метод напорных характеристик

Напорная характеристика рассматриваемого участка вентиляционной сети представляет собой характеристику условного вентилятора, который, работая на этот участок, оказывает такое же действие, как и реальный вентилятор. Через напорную характеристику учитывается влияние исключаемой части вентиляционной сети. В результате сложная схема сети может быть упрощена и приведена к работе одиночного вентилятора на простую сеть или даже отдельную выработку. Это обстоятельство имеет важное значение для оперативной оценки состояния проветривания аварийного участка и выбора эффективного вентиляционного режима.

Получение напорной характеристики в шахтных условиях осуществляется следующим образом. Предположим, необходимо найти напорную характеристику уклоного поля (см. рис. 9.1). Между точками 22 и 25 через вентиляционные двери прокладывают трубку и с помощью микроанометра определяют депрессию всего уклоного положения h_1 . Одновременно замеряют расход воздуха Q_1 , поступающего в выработки уклоного поля. Замер целесообразно осуществлять в выработке 25-52 на расстоянии 10-15 м от точки 25. После этого аэродинамическое сопротивление уклоного поля изменяется в сторону увеличения и уменьшения. Увеличение сопротивления может быть получено,

например, закрыванием противопожарной двери в ходке 25 - 52 или установкой в нем перемычки, уменьшение - закорачиванием вентиляционной струи (например, через вентиляционные двери 51 - 52 или 52 - 34). Поскольку режим проветривания рассматриваемого уклоного поля определяется точкой пересечения его аэродинамической и напорной характеристик, то графически нормальный режим проветривания будет изображен точкой А с координатами h_1 и Q_1 (рис. 9.2). После увеличения сопротивления уклоного поля получим новый режим проветривания - точку В с координатами h_2 и Q_2 , а уменьшения - точку С с координатами h_3 и Q_3 . Соединив точки А, В и С плавной кривой, получим напорную характеристику уклоного поля. При сопоставлении расчетной схемы во внимание могут приниматься лишь выработки уклоного поля. Влияние исключаемой части вентиляционной сети учитывается напорной характеристикой.

Геометрическая форма напорных характеристик, как правило, не повторяет геометрическую форму характеристики вентилятора главного проветривания. Иллюстрацией может служить рис. 9.3, где кривой 1 изображена характеристика вентилятора главного проветривания (шахта "Центральная" ПО "Красноармейскуголь"), кривыми 2, 3, 4 - напорные характеристики соответственно шахтной сети без канала вентилятора; без канала вентилятора и стволов; выемочной панели, выемочного участка. Кривые 5, 6 и 7 представляют собой напорные характеристики отдельных частей панели.

Проведенные исследования показали, что напорные характеристики выемочных полей шахт представляют собой монотонно изменяющиеся кривые, на любом участке которых $\Delta h/\Delta Q < 0$,

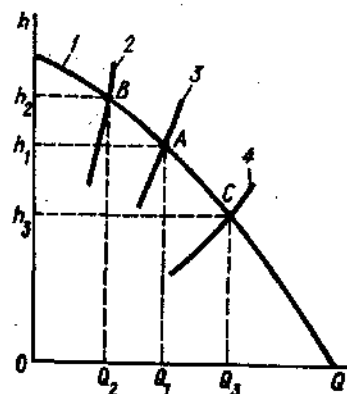


Рис. 9.2. Схема для определения напорной характеристики сети:
1 - напорная характеристика; 2-4 - аэродинамические характеристики

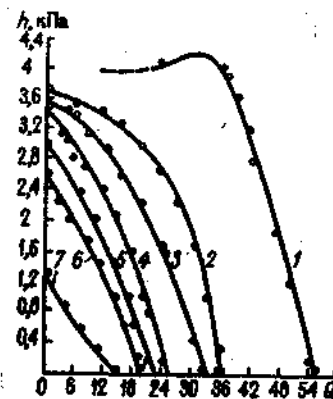


Рис. 9.3. Напорные характеристики участков

т.е. увеличение расхода воздуха соответствует уменьшению депрессии.

Аналитически напорную характеристику любого выемочного поля в первом квадрате системы координат h и Q можно выразить уравнением второй степени

$$h = H_0 - BQ \pm CQ^2, \quad (9.1)$$

где h - депрессия выемочного поля; H_0 - максимальная депрессия, развиваемая вентилятором в выемочном поле; B , C - эмпирические коэффициенты.

Поскольку напорная характеристика является монотонно изменяющейся кривой, то показателем ее нелинейности может служить угловой коэффициент касательной в точках пересечения характеристики с осями координат. Известно, что угловой коэффициент касательной к кривой в данной точке равен значению производной функции в этой же точке. Дифференцируя функцию (9.1), получим уравнение, характеризующее изменение углового коэффициента касательной в первом квадранте. Если обозначить угловой коэффициент касательной через y , то

$$y = - \frac{dh}{dQ} = -B \pm 2CQ. \quad (9.2)$$

Угловой коэффициент касательной в точке пересечения напорной характеристики с осью ординат (при $Q = 0$) соответствует $y_1 = -B$, а в точке пересечения абсцисс (при $Q = Q_0$)

$$y_2 = -B \pm 2CQ_0, \quad (9.3)$$

где Q_0 - максимальный расход воздуха, развиваемый вентилятором в выработках выемочного поля.

Максимальное изменение углового коэффициента касательной в первом квадрате определяется по формуле

$$\Delta y_{\max} = y_2 - y_1 = \pm 2CQ_0. \quad (9.4)$$

Из формулы (9.4) следует, что чем меньше по абсолютной величине коэффициент C , тем больше, при прочих равных условиях, приближается напорная характеристика к прямой. Среднее значение его для выемочных панелей в реальных условиях составляет 0,95, что в 41,5 раза меньше, чем коэффициент B .

Коэффициент C определяет геометрическую форму напорных характеристик выемочных полей. Последние можно разделить на следующие три группы: выпуклые, вогнутые и линейные.

Напорные характеристики первого типа описываются уравнением

$$h = H_0 - BQ - CQ^2. \quad (9.5)$$

В рассмотренных случаях их доля составляет 47% общего числа.

Ко второй группе относятся характеристики, которые описываются уравнением

$$h = H_0 - BQ + CQ^2. \quad (9.6)$$

Их доля составляет 30%. Примером является кривая 7 (см. рис. 9.3).

Особенность линейных характеристик третьего типа заключается в том, что коэффициент C равен нулю, а доля - 23%.

Анализ геометрических форм напорных характеристик позволяет нелинейные характеристики в практических расчетах заменить линейными. Погрешность составит не более 5%.

9.3. Метод затухания возмущений воздухораспределения

Любые возмущения воздухораспределения, возникающие в вентиляционной сети, затухают при распространении их по горным выработкам. Поэтому при расчетах можно рассматривать только ограниченную часть вентиляционной сети, в пределах которой изменение воздухораспределения имеет практическое значение. Остальные выработки исключаются из расчетной схемы.

Затухание возмущений воздухораспределения иллюстрирует следующий пример. На рис. 9.4 показана часть вентиляционной сети шахты № 7 ПО "Донецкуголь". Свежая струя воздуха подается в уклонное поле по восточному передаточному уклону 2-4-6 и откаточному штреку 6-7-10. Исходящая струя выдается по вентиляционному штреку 11-8-5 и ходку 5-3-1. Свежая и исходящая струи разделены вентиляционными дверьми (1-2, 3-4, 5-6, и 7-8). При моделировании рассматриваемой вентиляционной сети аэродинамическое сопротивление выработок уклонного поля, расположенных ниже линии 11-12-13, изменялось от нуля до бесконечности. Результаты моделирования приведены в табл. 9.1.

Из табл. 9.1 видно, что при снижении сопротивления уклонного поля его депрессия также снизилась почти до нуля. При увеличении сопротивления уклонного поля до бесконечности его депрессия возросла более чем в 2 раза. В целом депрессия его может изменяться в 980 раз. В то же время депрессия на выходе первого контура 7-8 может изменяться лишь в 5-6 раз, а на выходе четвертого 1-2 в 1,08 раза.

При проведении любых вентиляционных маневров в пределах уклонного поля депрессия всей сети, показанной на рис. 9.4, изменяется не более чем на 10%. Если ее принять постоянной величиной, равной 460 Па, то погрешность расчетов не превысит 10%.

Зная относительное изменение перепадов давлений между свежей и исходящей струями воздуха, можно определить коэффициент затухания возмущений воздухораспределения, т.е.

Т а б л и ц а 9.1

Результаты моделирования вентиляционной сети

Аэродинамическое сопротивление ук-лонного поля, $H \cdot c^2/m^3$	Депрессия, Па, вентиляционных дверей				
	11-12	7-8	5-6	3-4	1-2
1,12 (нормальные условия)	44	80	180	235	450
0 (нуль)	0,1	20	123	185	435
∞ (бесконечность)	98	110	205	260	470

$$\eta = h_n/h_n, \quad (9.7)$$

где h_n и h_n - перепад давления между свежей и отработанной струями воздуха соответственно после выполнения вентиляционного маневра и в нормальном режиме проветривания, Па.

Максимальное значение коэффициента затухания η наблюдается в месте выполнения вентиляционного маневра. По мере удаления от источника возмущений (навстречу свежей струе) коэффициент уменьшается, приближаясь к единице.

Коэффициент затухания для любой части вентиляционной сети определяют по формуле

$$\eta = 1 + 0,4/\lambda^{1,5}, \quad (9.8)$$

где λ - безразмерный коэффициент, характеризующий аэродинамические свойства вентиляционной сети,

$$\lambda = (h_n/h - 1)(1 - Q/Q_n), \quad (9.9)$$

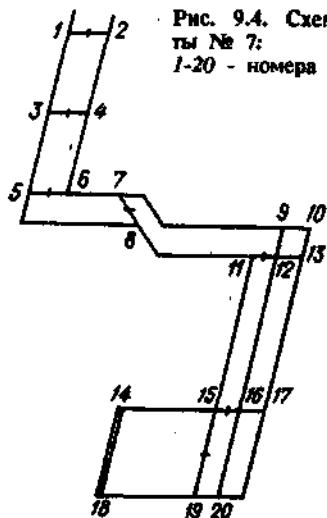


Рис. 9.4. Схема проветривания выемочного поля шахты № 7:
1-20 - номера узлов схемы

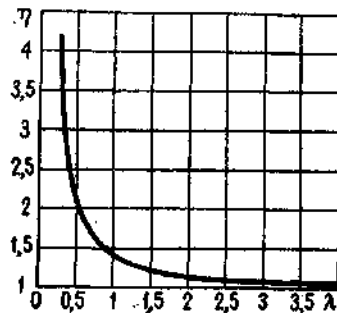


Рис. 9.5. График для определения коэффициента затухания η

где h и h_n - перепад давлений между свежей и исходящей струями соответственно в месте выполнения вентиляционного маневра и на выходе анализируемой части вентиляционной сети, Па; Q - расход воздуха в месте выполнения вентиляционного маневра, m^3/c ; Q_n - расход воздуха, подходящего (или выходящего) к анализируемой части вентиляционной сети, m^3/c .

Графическое изображение зависимости (9.8) показано на рис. 9.5. Все параметры, входящие в формулу (9.9), относятся к нормальному режиму проветривания шахты. При расчетах по формуле (9.9) расход воздуха Q равен расходу воздуха в той ветви, сопротивление которой изменяется. Исключением является закорачивание вентиляционных струй, при котором принимают расход воздуха в регулируемой сети (участке). Причем из двух возможных значений расходов воздуха принимается меньше.

Предположим, что требуется определить относительное изменение депрессии между точками 1 и 2 (см. рис. 9.4) после установки перемычки в выработке 11-15, по которой выходит отработанный воздух из уклонного поля. В нормальном режиме проветривания расход воздуха в выработке 11-15 равен $6,2 m^3/c$, а в выработке 1-3 - $19 m^3/c$. Тогда по формуле (9.9), используя данные табл. 9.1, находим

$$\lambda = (460/44 - 1)(1 - 6,2/19)^2 = 4,3.$$

По формуле (8.8) находим искомую величину.

$$\eta = 1 + 0,4/4,3^{1,5} = 1,05.$$

Исходя из предположения, что сопротивление аварийного участка (выработки) может изменяться от нуля до бесконечности, получена зависимость (9.8). Однако на практике аэродинамическое сопротивление может изменяться в более узких пределах. Тогда влияние источника возмущения будет охватывать меньшую область, а, следовательно, потребуется меньший объем информации о выработках, принимаемых к расчету. Это обстоятельство учитывается с помощью коэффициента z , тогда формула (9.8) принимает вид

$$\eta = 1 + 0,4z/\lambda^{1,5}. \quad (9.10)$$

Коэффициент z принимается в зависимости от изменения аэродинамического сопротивления Δr :

$\Delta r, H \cdot c^2/m^3$	1	2	5	10	20	50	100	200
z	0,05	0,15	0,35	0,46	0,6	0,74	0,85	1

Если анализируемая часть вентиляционной сети связана с остальной сетью посредством нескольких выработок (более двух), то расход воздуха Q_n определяют путем сложения дебитов ветвей, подводящих воздух к рассматриваемой сети.

Примером может служить схема, представленная на рис. 9.6. Рассматривая часть вентиляционной сети, заключенную между точками 8 и 15, следует учитывать поступление воздуха по диагонали 23-27. В этом случае

$$Q_n = Q_{7-8} + Q_{23-27}$$

где Q_{7-8} и Q_{23-27} - расход воздуха в ветвях соответственно 7-8 и 23-27, $\text{м}^3/\text{с}$.

Допустимая погрешность расчета депрессии принимается равной 10-20%, что соответствует погрешности расчета расхода воздуха 5-10%. При ориентировочных расчетах допустимую погрешность по депрессии можно увеличить до 30-40%. Следует учитывать, что повышение требований к точности расчетов приводит к увеличению числа ветвей, входящих в расчетную в схему.

Расходы воздуха в нормальном режиме Q и Q_n , входящие в формулу (9.9), обычно известны (эти данные имеются на шахте). Неизвестными являются перепады давлений h и h_n , которые принимают из материалов ранее выполненной депресссионной съемки или замеряют в шахте (в зависимости от конкретной обстановки). В последнем случае в зависимости от схемы проветривания шахты возможны следующие два способа определения перепадов давлений. В первом способе, когда свежий и отработанный воздух движется по двум параллельным выработкам, в первую очередь измеряют перепады давлений

между характерными точками вентиляционной сети. Например, если необходимо составить расчетную схему уклоного поля № 2 (см. рис. 9.1) и прилегающих выработок, то характерным можно считать перепады давлений между точками 11 и 13, 15 и 16, 12 и 13 и т.д. После этого, используя формулы (9.8) и (9.9), уточняют число ветвей, включаемых в расчетную схему.

В случае, когда свежий и отработанный воздух движется по выработкам, отстоящим друг от друга на значительном расстоянии, трудно или невозможно непосредственно измерить перепады давлений между свежей и исходящей струей. В качестве примера на рис. 9.7 показана такая схема. Свежий воздух на проветривание двух лав поступает по наклонным стволам (0-1 и 0-2), коренному штреку (2-3) и двум уклонам (3-5 и 4-6). Отработанный воздух выводится по магистральному вентиляционному штреку 7-11 и вентиляционному стволу 11-12. Между свежими и исходящими струями нет выработок, через которые можно было бы выполнить необходимые измерения перепадов давлений.

В этом случае перепад давления рекомендуется следующим образом:

измеряют перепад давлений h между свежей и исходящей струей в месте выполнения вентиляционного маневра;

задавшись допустимым относительным изменением перепада давлений на выходе вентиляционной сети по графику (см. рис. 9.5), определяют соответствующее ему значение коэффициента λ ;

определяют депрессию схемы, на основании которой производят расчет аварийных вентиляционных режимов по формуле

$$h_n = h[h/(1 - Q/Q_n)^2 + 1]. \quad (9.11)$$

В расчетную схему включаются выработки, суммарная депрессия которых по выбранному маршруту не менее h_n . Причем место выполнения вентиляционного маневра должно располагаться примерно в середине расчетной схемы.

Предположим, из-за пожара необходимо изолировать 5-ю западную лаву (см. рис. 9.7) путем возведения на участке 5-7 двух перемычек. Следовательно, параметр h равен депрессии ветви 5-7, которая, в свою очередь, может быть заменена по маршруту 5-8-7. После вычисления по формуле (9.11) h_n находят выработки, которые включают в расчетную схему. Так, если суммарная депрессия по маршруту 2-3-5-7-11 больше депрессии h_n , то в расчетную схему включают только те выработки, которые расположены между узлами 2 и 11. Наклонные и вертикальные стволы, канал вентилятора и пути внешних подсосов воздуха в расчетную схему не включают.

Особенности составления расчетных схем в различных условиях рассмотрим на конкретных примерах.

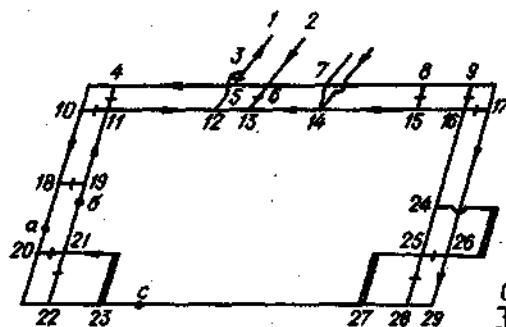
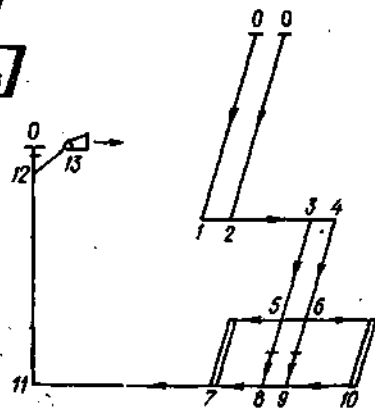


Рис. 9.6. Схема проветривания шахты:
1-29 - номера узлов схемы;
а, б, с - точки разрыва ветвей

Рис. 9.7. Схема проветривания горных выработок шахты:
1-13 - номера узлов схемы



Пример 1. Определить относительное изменение депрессии на участке вентиляционной сети, расположенном между точками 17 и 18 при закорачивании вентиляционной струи через сбойку 54-52 (см. рис. 9.1). Известно, что депрессия сбойки 54-52 $h = 120$ Па, депрессия ветви 17-18 $h_n = 930$ Па, расход воздуха в откаточном штреке 5-й северной лавы составляет $Q = 8$ м³/с, а расход воздуха в ветви 16-18 $Q_n = 42$ м³/с.

Решение. По формуле (9.9) определяем безразмерный коэффициент, характеризующий аэродинамические свойства сети:

$$\lambda = (930/120 - 1)(1 - 8/42) = 4,45.$$

По формуле (8.8) определяем коэффициент затухания:

$$\eta = 1 + 0,4/4,45^{1,5} = 1,04.$$

Следовательно, после закорачивания вентиляционной струи депрессия ветви 17-18 изменится не более чем на 4%. В расчетную схему можно исключать выработки, расположенные на схеме проветривания шахты (см. рис. 9.1) правее сбойки 17-18. Поскольку на участке сети, расположенном правее сбойки 24-25, не предполагается производить какие-либо изменения, то он может быть заменен одной эквивалентной ветвью.

Пример 2. Определить минимальный объем работ по депрессионной съемке, на основании которого можно было бы рассчитать воздухораспределение после изменения сопротивления ветви 6-10-9 (см. рис. 9.6). Расход воздуха в ветви 6-10-9 составляет 7 м³/с, депрессия $h = 90$ Па. Общий расход воздуха в сети $Q_n = 25$ м³/с.

Решение. Допустимую погрешность расчета по депрессии принимаем равной 10%, тогда $\eta_d = 1,1$.

По графику (см. рис. 9.5) определяем, что $\eta = 1,1$ соответствует $\lambda = 2,5$.

По формуле (9.11) определяем

$$h_n = 90 \left[\frac{2,5}{(1 - 7/25)^2} + 1 \right] = 520 \text{ Па.}$$

Суммарная депрессия выработок маршрута 3 - 4 - 6 - 9 - 8 - 7 - 11 составляет 520 Па. Следовательно, депрессионная съемка должна быть проведена в вентиляционной сети, ограниченной точками 3 и 11. Эти же выработки включаются в расчетную схему.

Пример 3. Определить объем депрессионной съемки, на основании которого можно было бы решить поставленную задачу.

Краткая характеристика сложившейся обстановки: пожар в 3-й восточной лаве (см. рис. 9.6); начата подготовка к изоляции пожарного участка (перемычки возводят на откаточном и вентиляционном штреках); необходимо рассчитать депрессию пожарного участка после его изоляции.

Исходные данные: имеются сведения о расходах воздуха во всех выработках (часть их приведена на рис. 9.6); в результате измерений получены перепады давлений между характерными точками схемы: депрессии ветвей 26-24, 16-17, 9-16, 8-13, 7-14 и 6-13 соответственно равны 140, 280, 340, 690, 850 и 1180 Па.

Решение. Допустимую погрешность расчета по депрессии принимаем равной 10%, т.е. $\eta_d = 1,1$.

Предполагая, что при расчете можно ограничиться выработками уклоного поля, найдем относительное изменение депрессии между точками 16 и 17 (см. рис. 9.6). При этом учитываем, что в уклонное поле воздух подается по двум выработкам 9-17 и 23-26. Поэтому

$$Q_n = Q_{9-17} + Q_{23-26} = 14 + 5 = 19 \text{ м}^3/\text{с.}$$

По формуле (8.9) определяем

$$\lambda_{16-17} = (280/140 - 1)(1 - 8/19)^2 = 0,34.$$

По графику (см. рис. 9.5) определяем коэффициент затухания

$$\eta_{16-17} = 3.$$

Поскольку $\eta > \eta_d$, то рассматривается изменение депрессии на более удаленных ветвях. Рассчитать изменение депрессии ветви 9-16 не имеет смысла, так как в этом случае параметры, подставляемые в формулу (9.9), изменятся незначительно. Поэтому определяем коэффициент затухания между точками 8 и 15. При этом

$$Q_n = Q_{7-8} + Q_{23-26} = 17 + 5 = 22 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$\lambda_{9-16} = (680/140 - 1)(1 - 8/22)^2 = 1,6.$$

Тогда (из рис. 9.5) $\eta_{16-17} = 1,2$. В этом случае также $\eta > \eta_d$.

Определяем относительное изменение депрессии между точками 7 и 14, учитывая, что

$$Q_n = Q_{6-7} + Q_{23-25} = 35 + 5 = 40 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$\lambda_{7-14} = (850/140 - 1)(1 - 8/40)^2 = 3,3.$$

По формуле (8.8) находим

$$\eta_{7-14} = 1 + 0,4/3,3^{1,5} = 1,07.$$

Следовательно, депрессия между точками 7 и 14 (см. рис. 9.6) изменится на 7%, что отвечает предъявляемым требованиям.

Находим с помощью микробарометра точки в левой части схемы, имеющие такое же вентиляционное давление, как и в точках 7 и 14. Предположим, что это будут точки а и б, которые являются точками разрыва ветвей в вентиляционной сети. В принципе это может быть и одна точка (например, точка с, расположенная на ветви 23-27). Таким образом, депрессионная съемка должна быть выполнена в части сети, ограниченной точками 8-15-6-а.

9.4. Особенности расчетов аварийных вентиляционных режимов на ЭВМ

Затраты времени на расчеты аварийных вентиляционных режимов пропорциональны числу ветвей расчетной схемы. Поэтому следует стремиться к уменьшению их числа.

Производят обычные упрощения расчетной схемы: объединяют последовательно и параллельно соединенные выработки, вентиляционные участки заменяют одной эквивалентной ветвью, исключают выработки с незначительными депрессиями. Если какой-либо участок связан с остальной сетью только двумя выработками, то их можно заменить эквивалентной ветвью. Не следует заменять эквивалентом те участки, в которые входит аварийная выработка и выработки-регуляторы. Ветви с незначительными депрессиями (в 100 и более раз меньше общей депрессии h_n) можно исключить из расчетной схемы. Число исключаемых ветвей не должно превышать 10% их общего числа.

Если дальнейший расчет будет осуществляться с помощью ЭВМ или электромоделей, то упрощение схемы на этом заканчивается.

Как уже отмечалось, вентиляционная сеть шахты постоянно изменяется: часть выработок погашают, а взамен проводят новые; изменяется длина и площадь поперечного сечения выработки; реконструируют вентиляционные сооружения. Поэтому информация, полученная при плановой депрессионной съемке, к моменту аварии устаревает. Если позволяет конкретная обстановка, то недостающую информацию получают путем проведения частичной депрессионной съемки по методике, изложенной в разд. 7.

Опыт ведения горноспасательных работ показывает, что в некоторых случаях выполнить замеры на аварийном участке невозможно. Причины могут быть самые разнообразные: например, угроза взрыва метановоздушной смеси, высокая температура воздуха и др. В этих условиях рассчитывают аварийные режимы по неполной информации, используя метод расчета с промежуточной корректировкой исходной информации.

Процесс расчета разбивают на следующие этапы.

На первом этапе определяют недостающую информацию. При этом используют имеющиеся сведения о длине, площади сечения и типе крепи выработок.

Выработки, аэродинамическое сопротивление которых неизвестно, делят на две группы. К первой относятся выработки, которые не имеют местных сопротивлений (вентиляционных дверей, резких изменений, сечений, завалов и др.), ко второй - все остальные.

Аэродинамическое сопротивление ветвей первой группы определяют по формулам (7.15) и (7.17).

Аэродинамическое сопротивление выработок второй группы невозможно определить расчетным путем. Поэтому его задают ориентировочно по аналогии с такими же выработками, имеющимися в депрессионной съемке.

На втором этапе, используя информацию об индивидуальных характеристиках и режимах работы вентиляторов главного проветривания и сопротивлениях выработок, на ЭВМ по стандартной программе рассчитывают естественное распределение воздуха в вентиляционной сети шахты. На третьем этапе производится корректировка сопротивлений, значения которых были приняты ориентировочно. При этом используют материалы последних замеров расходов воздуха, имеющихся на шахте. Сопоставляя фактические значения расходов воздуха с полученными в результате расчета на ЭВМ, определяют ветви, для которых расхождение превышает 10%. Для них подсчитываются новые значения сопротивлений по формуле

$$R_x = R(q_p/q_s)^2, \quad (9.12)$$

где R_x и R - аэродинамическое сопротивление выработки, соответственно после корректирования и ориентировочно при-

нятое, $H \cdot c^2/m^4$; q_p и q_s - расход воздуха в выработке, полученный соответственно при расчете на ЭВМ и при замере в шахте, m^3/c .

С учетом полученных сопротивлений вновь рассчитывают естественное воздухораспределение. Если в каких-либо ветвях расход воздуха будет отличаться от фактического более чем на 10%, то сопротивления ветвей вновь корректируют, используя формулу (9.12).

Расчетный вариант воздухораспределения, в котором расходы воздуха по ветвям сети отличаются от фактических не более чем на 10%, принимают в качестве базового. На его основе рассчитывают аварийные вентиляционные режимы с учетом сложившейся обстановки и выполнения намеченных мероприятий. Метод оперативного расчета вентиляционных сетей шахт с промежуточной корректировкой исходной информации отличается простотой, сравнительно небольшой трудоемкостью, выполняется достаточно быстро, обеспечивая точность, необходимую для практической работы. Метод неоднократно применялся в аварийных условиях и с его помощью были получены удовлетворительные результаты.

9.5. Выполнение расчетов с помощью простейших вычислительных средств

В некоторых случаях расчет вентиляционной сети может быть выполнен с помощью простейших вычислительных средств.

Если расчет аварийных вентиляционных режимов производят, используя простейшие вычислительные средства, то упрощенная ранее локальная схема подвергается дальнейшему упрощению известным методом депрессионных шагов. Для этого строят потенциальную схему вентиляционных соединений выработок, которые входят в расчетную схему (рис. 9.8). На потенциальной схеме расстояние между узлами сети по вертикали в определенном масштабе характеризует депрессию.

Все ветви, образующие локальную схему, делятся на две зоны. В первую (зона эффективного регулирования) включаются те ветви, которые оказывают наибольшее влияние на расход воздуха в аварийной выработке или ветви, расход в которых необходимо изменить.

Зона эффективного регулирования отделяется от остальной сети изобарами I-I и II-II (см. рис. 9.8). Последние проводятся через концы тех ветвей (из числа включенных в зону эффективного регулирования), разность вентиляционных давлений между которыми имеет наибольшее значение. Например, при пожаре в выработке 22-Б-16 в зону эффективного регулирования можно включить параллельные ветви 22-Г-16, 23-Б-18, 23-Р-18 и 17-16. Среди узлов, ограничивающих указанные ветви, можно выделить 16 и 17, депрессия между

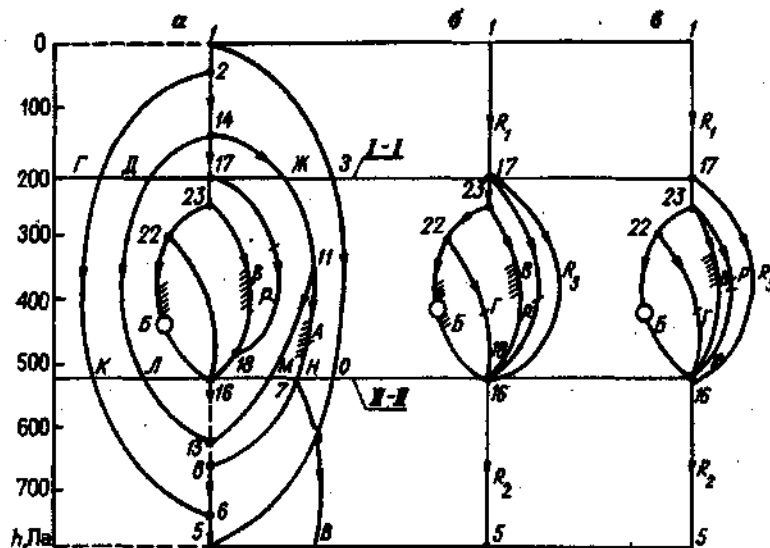


Рис. 9.8. Упрощение схемы методом депрессионных шагов:
1-23 - номера узлов; а, б, в - упрощенные схемы вентиляции

которыми имеет максимальное значение. Через них проведем изобары, ограничивающие зону эффективного регулирования.

Изобара, проходящая через узел 17, пересекает несколько других ветвей в точках Г, Д, Ж и З. Вентиляционное давление в этих точках одинаково. Поэтому их можно объединить в одну точку 17. После этого ветви, расположенные между узлами 1 и 17, можно заменить эквивалентной, сопротивление которой обозначим через R_1 . Аналогично поступаем с ветвями, расположенными ниже изобары К-Л-16-М-Н-О. Эквивалентное сопротивление их обозначим R_2 . Затем объединяем параллельные ветви Г-К, Д-Л и др. Общее сопротивление их обозначим через R_3 . Расчетная схема после преобразований приведена в центре рисунка (б).

При выборе размера зоны эффективного регулирования следует учитывать следующее. Чем она шире, тем меньше погрешность расчета. Это связано с тем, что преобразование сложных сетей в простые по методу депрессионных шагов справедливо лишь для фиксированного состояния. При изменении сопротивления любой ветви происходит перераспределение депрессии во всех выработках и изменяются сопротивления ветвей R_1 , R_2 и R_3 . С другой стороны, при увеличении зоны эффективного регулирования входящих в расчетную схему, что, в свою очередь, увеличивает объем вычислений. Исследования на ЭВМ вентиляционных сетей шахт показали, что депрессию зоны

эффективного регулирования целесообразно выбирать, исходя из выражения

$$h_{\text{э.р.}} = (0,4 + 0,6) h_n,$$

где $h_{\text{э.р.}}$ - депрессия зоны эффективного регулирования.

Если сеть осложнена диагоналями, то ее целесообразно упростить путем совмещения концов ветвей, в которых небольшие расходы воздуха. При этом может существенно измениться расход воздуха в отдельных ветвях, тогда корректирование сопротивлений в них необходимо выполнить так, чтобы давление в узлах не изменилось. Корректирование производится по следующим зависимостям:

$$r = r_0 \sqrt{h/h_0}; \quad (9.13)$$

$$r = r_0 (q_0/q)^2, \quad (9.14)$$

где r и r_0 - соответственно новое (условное) сопротивление ветви и фактическое (по данным депрессионной съемки), $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$; h_0 и q_0 - фактическая депрессия и расход воздуха в ветви (по данным депрессионной съемки), Па и $\text{м}^3/\text{с}$; h , q - то же после преобразования.

Например, из рис. 9.8 видно, что 23-18 является диагональю. Если ее начало (т.е. точку 23) переместить в точку 17, то схема превращается в бездиагональную. Этот же результат можно получить путем перемещения начала ветви 17-18 (точка 17) в точку 23. Расход воздуха в последней ветви меньше. Расчетная схема для этого случая приведена на рис. 9.8, в. Чтобы не изменилось распределение давлений в узлах сети, необходимо пересчитать сопротивление ветвей 23-Р-18 и 17-23. Поскольку после преобразований расход воздуха в ветви 17-23 увеличился, то сопротивление ее следует уменьшить в соответствии с зависимостью (9.14). Чтобы в ней сохранить постоянный расход воздуха, сопротивление этой ветви следует уменьшить, т.е. откорректировать по формуле (9.13).

При использовании простейших вычислительных средств расчет депрессий и расходов воздуха производят в следующем порядке.

1. Определяют сопротивления ветвей с учетом выполнения намеченных мероприятий.

2. По общепринятым формулам находят общее сопротивление рассматриваемой сети после выполнения вентиляционного маневра R_n путем объединения последовательно и параллельно соединенных ветвей.

3. Находят общий расход воздуха в сети Q_n после выполнения намеченных мероприятий по формуле

$$Q_n = \sqrt{h_n/R_n}. \quad (9.15)$$

4. Определяют депрессию первого контура, который рас-

положен между изобарами, ограничивающими зону эффективного регулирования, по формуле

$$H_1 = h_n - (R_1 + R_2) Q_n^2 \quad (9.16)$$

На рис. 9.8 депрессия первого контура равна разности вентиляционных давлений между узлами 16 и 17.

5. По известным значениям депрессии и сопротивлений определяют расходы воздуха в ветвях, депрессии которых равны депрессии первого контура (в рассматриваемом примере такой ветвью является ветвь 16-17, аэродинамическое сопротивление которой равно R_2).

6. Определяют расход воздуха, поступающего на второй контур:

$$Q_2 = Q_n - \sum q_1 \quad (9.17)$$

где $\sum q_1$ - суммарный расход воздуха в ветвях, депрессии которых равны депрессии первого контура, $\text{м}^3/\text{с}$.

7. Определяют депрессию второго контура:

$$H_2 = H_1 - Q_2 \sum r$$

где $\sum r$ - суммарное сопротивление ветвей, последовательно соединенных со вторым контуром, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$.

Применительно к рис. 9.8, депрессия второго контура численно равна разности вентиляционных давлений между узлами 16 и 23, последовательно указанным контуром соединена ветвь 17-23, т.е. для рассматриваемого случая

$$\sum r = r_{17-23}$$

8. Аналогично определяют аэродинамические параметры других контуров и отдельных ветвей.

Пример 1. Пожар в лаве Б (участок 15-21, см. рис. 9.8). Участок подготавливают к изоляции. На откаточном и вентиляционном штреках предполагают установить перемычки с проемами, общее сопротивление которых $\Delta r = 8 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$. Необходимо определить расход воздуха в лаве после сооружения перемычек.

Решение. Расчетную схему (см. рис. 9.8) упрощаем методом депрессионных шагов.

Сопротивление R_1 определяем по формуле

$$R_1 = h_{1-17} / Q_n^2 = 215/26^2 = 0,32 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6,$$

где h_{1-17} - перепад давлений между точками 1 и 17, Па; Q_n - общий расход воздуха в рассматриваемой части схемы, $\text{м}^3/\text{с}$.

Аналогично определяем сопротивление R_2

$$R_2 = h_{16-5} / Q_n^2 = 255/26^2 = 0,38 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6,$$

где h_{16-5} - перепад давлений между точками 16 и 5, Па.

Определяем сопротивление R_3

$$R_3 = h_{17-16} / \left(\sum_{i=1}^n q_i \right)^2 = 310/11^2 = 2,56 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6,$$

где $\sum_{i=1}^n q_i$ - сумма расходов воздуха в ветвях Г-К, Д-Л, Ж-11 и З-О (данные принимают из материалов депрессионной съемки или производят замеры в шахте перед расчетом), $\text{м}^3/\text{с}$.

Условное сопротивление ветви 23-Р-18 с измененной депрессией определяем по формуле (9.13)

$$R_{23-Р-18} = 71,8 \sqrt{265/225} = 77,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6.$$

Условное сопротивление ветви 17-23 с измененным расходом воздуха находим по формуле (9.14)

$$R_{17-23} = 0,25(13,3/15)^2 = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6.$$

Ветви 23-В-18, 23-Р-18 и 18-16 можно заменить эквивалентной

$$R_{23-ВР-18-16} = h_{23-16} / q_{16-18}^2 = 255/6,72 = 5,68 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6,$$

где h_{23-16} - перепад давлений между точками 23 и 16, Па; q_{16-18} - расход воздуха в ветви 16-18, $\text{м}^3/\text{с}$.

После сооружения перемычек с проемами сопротивление ветви 22-Б-16 составляет

$$R_{22-Б-16} = r_{22-Б-16} + \Delta r = 4,08 + 8 = 12,08 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6.$$

Общее сопротивление сети, состоящей из последовательно и параллельно соединенных ветвей, равно $1,24 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$.

Общий расход воздуха в рассматриваемой сети после сооружения перемычек определяем по формуле (9.14)

$$Q_n = \sqrt{780/1,21} = 25,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Депрессию между узлами сети 16 и 17 (депрессию первого контура) вычисляем по формуле (9.16)

$$H_1 = h_{16-17} - 780 - (0,32 + 0,38)25,1^2 = 339 \text{ Па}.$$

Определяем расход воздуха в ветви 16-17

$$Q_{23-16-17} = \sqrt{h_{16-17} / R_3} = \sqrt{339/2,56} = 13,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расход воздуха в ветви 17-23, равный расходу воздуха во втором контуре, определяем по формуле (9.17)

$$Q_2 = Q_{17-23} = 25,1 - 11,5 = 13,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определяем депрессию второго контура, расположенного между узлами 16 и 23

$$H_2 = h_{16-23} - H_1 - Q_{23-16-17}^2 \cdot R_3 = 339 - 13,6^2 \cdot 0,2 = 283 \text{ Па}.$$

Аналогично расчет продолжают до определения нового расхода воздуха в лаве Б, равного $4,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Первоначальный расход составлял $7 \text{ м}^3/\text{с}$. Следовательно, в результате сооружения двух перемычек с проемами расход воздуха сократится на 37%.

10. ГАЗОДИНАМИКА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

10.1. Общие положения

При пожарах в угольных шахтах основным взрывоопасным компонентом газовой смеси является метан. Возможность образования взрывоопасной газовой смеси обуславливается метановыделением из разрабатываемого пласта, вмещающих пород, газоносных спутников и выработанного пространства. Газовыделение в первых трех случаях зависит от горно-геологических условий и не поддается оперативному регулированию.

Газовыделение из выработанного пространства обуславливается в основном аэродинамикой выемочного участка и зависит от схемы проветривания, расхода воздуха, величины утечек, объема активной зоны выработанного пространства, содержания метана в пустотах, работы дегазационной установки, вентиляционного давления (под вентиляционным давлением подразумевается давление воздуха, обусловленное работой вентилятора главного проветривания) и др. Изменяя аэродинамические параметры выработанного пространства, возможно в той или иной степени оказывать влияние на газовую обстановку аварийного участка. К аэродинамическим параметрам, которые можно изменять в аварийной обстановке, относятся расход воздуха, его утечки, вентиляционное давление.

Традиционно основным способом борьбы с высоким содержанием метана на аварийном участке является усиление его проветривания. Однако резкое увеличение расхода воздуха в определенных условиях сопровождается таким же резким повышением содержания метана. Например, при пожаре на одной из шахт ПО "Шахтерскантрацит" увеличение расхода воздуха вдвое привело к увеличению содержания метана на вентиляционном штреке с 3,1 до 5,2%, что могло привести к взрыву метано-воздушной смеси. Описанное явление носит название переходного газового процесса.

Наличие переходных газовых процессов объясняют влиянием газонасыщенных выработанных пространств. После усиления проветривания увеличивается объем выработанного пространства, омываемого утечками воздуха, что усиливает вынос метана из него. Длительность переходных газовых процессов колеблется от 30 мин до нескольких часов, а иногда и более.

Следует также отметить, что возможности увеличения подачи воздуха на аварийные участки весьма ограничены, так как вентиляторы главного проветривания большинства угольных шахт не имеют резерва подачи, а вентиляционные сети обладают низкой степенью регулирования.

Для снижения содержания метана на аварийном участке

применяется дегазация сближенных пластов и коллекторов метана. Особенно часто применяется этот способ при тушении горящего метана в выработанных пространствах. Однако дегазации присущи и серьезные недостатки. Основной - высокая трудоемкость, связанная с бурением скважин, расширением дегазационной сети и увеличением ее мощности. Кроме того, нередки случаи, когда в аварийных условиях не удавалось увеличить сеть скважин из-за сдвижения горных пород.

Недостатки существующих методов управления газовыделением вынудили искать другие пути решения проблемы. Один из способов снижения содержания метана на аварийном участке заключается в повышении вентиляционного давления.

Известно, что метан, заключенный в угле, находится в свободном и сорбированном состоянии. В свободном состоянии он заполняет все пустоты (поры, трещины) угля. Под объединяющим термином сорбированный газ понимается газ адсорбированный (стуженный в виде "пленки" на поверхности твердого вещества угля), адсорбированный (в виде твердого раствора в угле) и хемосорбированный (находящийся в частично обратной химической связи с углем).

Количество сорбируемого каменным углем газа повышается с ростом газового давления и понижается с увеличением температуры, влажности и зональности угля.

Зависимость сорбции от давления газа характеризуется уравнением Лэнгмюра

$$x = \frac{abp}{1 + ap}, \quad (10.1)$$

где x - расход сорбированного газа, $\text{см}^3/\text{т}$; a - константа, ат^{-1} ; b - константа, $\text{см}^3/\text{г}$; p - давление газа, ат .

Константы a и b могут быть определены по формуле

$$a = 2,4 + 0,21V, \quad (10.2)$$

$$b = 1 - 0,004V, \quad (10.3)$$

где V - выход летучих на горючую массу, %.

При изменении давления воздуха изменяются также объемы газовой смеси, заполняющих выработанные пространства и изолированные участки. Содержание метана в последних значительно выше, чем в действующих выработках. При снижении давления метановоздушная смесь расширяется и часть метана попадает в действующие выработки. При повышении давления, наоборот, газоздушная смесь уменьшается в объеме и на некоторое время прекращается выделение метана в действующие выработки.

Об эффективности способа снижения содержания метана на аварийном участке, основанном на изменении вентиляционного давления, можно судить по результатам его практического применения на шахтах № 43 ПО "Торезантрацит", "Чайкино" ПО "Максуголь" и др.

Шахта № 43 разрабатывает пласт "Дроновский", вынимаемая

мощность которого составляет 0,95 м. Марка угля - антрацит, непосредственная кровля и почва пласта - глинистый сланец. Угол падения пласта - 7-10°. Шахта является сверхкатегорной по газу, по пыли не опасная. Абсолютная газообильность по метану составляет 20 м³/мин.

Эксперименты проводились на восточном крыле шахты (рис. 10.1). Свежий воздух на проветривание очистных и подготовительных забоев подавался по двум наклонным стволам, 13 и 15 откаточным штрекам, а также по трем уклонам. Отработанный воздух выводился на поверхность по людскому уклону 22-17-14, штреку 14-15-16, фланговому вентиляционному ходку 16-12, вентиляционным сбойкам 12-13 и 13-28.

На восточном крыле шахты имелась одна 21 восточная лава. Она обрабатывалась прямым ходом, способ управления кровлей - полное оборудование. Отход лавы от людского уклона 22-25 составлял 1050 м. Выемка угля в лаве была прекращена за 3 мес до проведения эксперимента.

Вентиляционное давление изменялось следующим образом. В верхней части вспомогательного ствола устанавливалась перемычка и одновременно увеличивалась производительность вентилятора главного проветривания ВЦ25. В результате расходы воздуха в выработках шахт (исключая главный и вспомогательный стволы) не изменились, а вентиляционное давление уменьшилось на 400 Па.

Результаты одного из экспериментов приведены на рис. 10.2. На рисунке показано изменение содержания метана на 21-м восточном вентиляционном штреке. В нормальном режиме

проветривания содержание метана в нем составляло 2,1%. После снижения давления оно увеличилось до 2,6%. Затем через 10-15 мин содержание метана несколько уменьшилось и установилось на уровне 2,45-2,5%. Кратковременное повышение концентрации метана до 2,6% объясняется расширением газозадушной смеси в выработанном пространстве лавы и перемещением ее в действующую выработку. Поскольку выработанное пространство проветривается слабо, то содержание метана в нем было равно 10-15%. После повышения давления воздуха на 400 Па содержание метана в вентиляционном штреке снизилось до 2%.

На рис. 10.2 показано изменение содержания метана в людском уклоне, которое в нормальном режиме проветривания было равно 1,75%. После снижения вентиляционного давления содержание метана начало резко расти и через 40 мин достигло 2,5%, т.е. увеличилось в 1,4 раза. В отдельные промежутки времени оно достигало 2,7%. После увеличения давления до нормы содержание метана в людском уклоне снизилось до 1,6%. Кратковременное увеличение с 2,5 до 2,7% объясняется, как и в предыдущем случае, расширением газозадушной смеси в выработанных пространствах.

Особенно значительно изменилась ситуация в выработанном пространстве. Так, в выработанном пространстве 20-й восточной лавы в нормальном режиме проветривания содержание метана составляло 9,9%. После уменьшения вентиляционного давления оно выросло до 21,9%. После увеличения давления воздуха до нормальной величины содержание метана в выработанном пространстве снизилось до 9,8%.

На шахте "Чайкино" ПО "Макеевуголь" наблюдения проводились в 25-й западной лаве. Шахта проветривалась двумя вентиляторами. Один из них был установлен на скиповом стволе, другой - на вентиляционном. 25-я западная лава находилась в зоне влияния вентилятора скипового ствола, вентилятор вентиляционного ствола на условия ее проветривания не оказывал существенного влияния.

На вентиляционном штреке в 1300 м от лавы был оборудован пункт наблюдений. В нормальном режиме проветривания расход воздуха в пункте наблюдений составил 960 м³/мин, а содержание метана 0,6%. Для увеличения давления воздуха в шахте вентилятор вентиляционного ствола был остановлен. В пункте наблюдений давление воздуха увеличилось на 410 Па (рис. 10.3), расход воздуха - на 16%, а содержание метана снизилось в 1,32 раза (с 0,6 до 0,45%). Несмотря на увеличение расхода воздуха, газовыделение на выемочном участке снизилось на 15% (с 5,9 до 5,1 м³/мин). Затем вентилятор вентиляционного ствола был переведен на реверсивную работу, вентилятор же скипового ствола продолжал нормально работать. В результате изменения режима проветривания шахты вентиляционное давление в пункте наблюдений дополнительно уве-

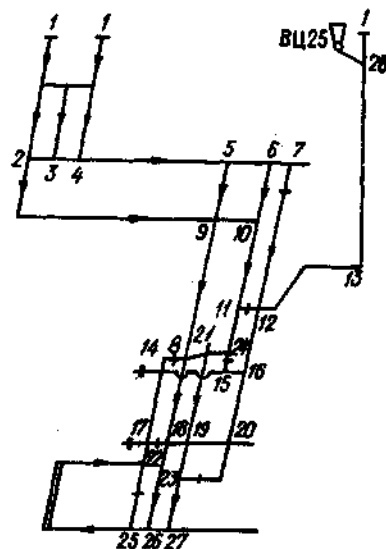


Рис. 10.1. Схема выемочного поля шахты № 43; 1-28 - номера узлов схемы

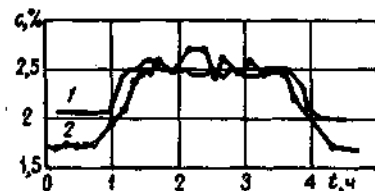


Рис. 10.2. Графики изменения содержания С метана: 1 - в 21-м восточном вентиляционном штреке; 2 - в людском ходке

личилось на 190 Па. Расход воздуха при этом увеличился столь незначительно, что его не удалось зафиксировать анемометрами. Содержание метана на вентиляционном штреке 25-й западной лавы дополнительно снизилось в 1,8 раза. В целом, во время эксперимента вентиляционное давление в пункте наблюдений увеличилось на 600 Па, а содержание метана снизилось в 2,4 раза.

Наблюдения были также проведены на шахте "Новодружеская" ПО "Первомайскуголь". По метану шахта относится к третьей категории. Максимальная глубина разработки составляет 678 м. Проветривание шахты осуществляется тремя вентиляторами, работающими на всасывание.

Объектом наблюдений служил изолированный участок 7-й восточной лавы пл. k_0 (рис. 10.4). В нормальном режиме проветривания он отрабатывается обратным ходом. Откаточный и вентиляционный штреки были пройдены по ненарушенному массиву. Способ управления кровлей - полное обрушение.

Лавы была изолирована из-за пожара, который не удалось потушить активным способом из-за завалов и угрозы взрыва метана. Участок был изолирован взрывоустойчивыми гипсовыми перемычками толщиной 1,8 м. Перемычка А была установлена на вентиляционном штреке. Через нее была проложена труба с внутренним диаметром 100 мм, предназначенная для замеров депрессии и выделяющейся газовой смеси. Перемычка В была установлена на откаточном штреке. Утечки воздуха через нее были ничтожны и не улавливались существующими методами. С целью усиления изоляции участка откаточный штрек был затоплен водой. Общий объем изолированных выработок (без откаточного штрека) составил 6,5 тыс. м³.

На момент наблюдений содержание метана в изолированном

участке составляло 80-95%, кислорода - 0,4-2%, диоксида углерода - 2-2,5%. В установившемся режиме проветривания газоздушная смесь из изолированного участка выделялась через перемычку 4 (по трещинам в боковых породах). Это можно объяснить выделением метана из разрабатываемого пласта и спутников. Количество газоздушной смеси, выделяющейся из изолированного участка, составляло 1,5 м³/мин (в том числе метана 1,3 м³/мин).

Было проведено четыре эксперимента. Давление изменялось с помощью вентиляционной двери 1, расположенной в сбойке 2, и перемычки, устанавливаемой в наклонной сбойке 3. Каждый эксперимент проводился после того, как все процессы на участке стабилизировались. Барометрическое давление измерялось микробарометром, установленным возле перемычки 4. Депрессия перемычки 4 измерялась с помощью микроманометра и трубки. Скорость движения воздуха в трубке фиксировалась крыльчатым или чашечным анемометром.

Эксперимент № 1. Цель его - определить влияние уменьшения вентиляционного давления на выделение метана из газонасыщенного пространства.

Перед началом эксперимента положение регуляторов было следующим: в сбойке 3 навешена перемычка, изготовленная из полиэтиленовой пленки; вентиляционная дверь 1 открыта. Для того, чтобы анемометром можно было измерять количество метана, выделяющегося из участка при изменении давления, труба была открыта. Для уменьшения давления была снята перемычка и закрыта вентиляционная дверь. Оба вентиляционных маневра были выполнены одновременно. Это привело к снижению давления на 490 Па.

После уменьшения давления скорость движения газоздушной смеси в трубе достигла 12 м/с. Количество смеси, выделяющейся через трубу, составило 6 м³/мин (в том числе метана 5 м³/мин). Как видим, после уменьшения давления выделение метана увеличилось почти в 4 раза.

Затем расход смеси в трубе начал снижаться и примерно через 35-40 мин достиг уровня, наблюдаемого в установившемся режиме проветривания. Объем метана, выделившегося через перемычку 4, составил 140 м³, что в 2 раза превышает объем, который может выделяться из изолированного участка за такое же время в стабилизированном режиме проветривания.

Как видим, уменьшение давления привело к резкому усилению метановыделения из газонасыщенного пространства. Это явление нельзя объяснить влиянием утечек воздуха, так как величина последних равнялась нулю.

Эксперимент № 2. Цель его - определить влияние увеличения вентиляционного давления на выделение метана из газонасыщенного пространства.

Перед началом эксперимента дверь 1 находилась в закрытом положении, труба была открыта, а перемычка снята.

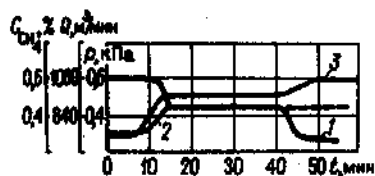


Рис. 10.3. Графики изменения содержания метана C_{CH_4} (1), расхода воздуха Q (2) и вентиляционного давления p (3) в выработках выемочного участка шахты "Чайкино"

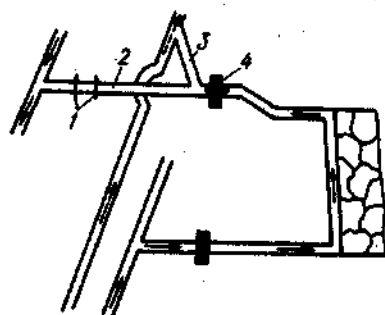


Рис. 10.4. Схема аварийного участка шахты "Новодружеская": 1 - вентиляционные двери; 2 - сбойка; 3 - наклонная сбойка; 4 - изоляционная перемычка на исходящей трубе участка

После открывания вентиляционной двери 1 давление увеличилось на 26 Па. Вследствие этого направление движения воздуха в трубе изменилось на противоположное, что сделало невозможным выделение газов из изолированного участка. В начальный момент скорость движения воздуха в трубе составила 2,5 м/с. По мере заполнения воздухом изолированного участка скорость уменьшилась. Одновременно снижалась также депрессия перемычки 4. Через 8 мин движение воздуха в трубе прекратилось, а затем восстановилось первоначальное направление.

Таким образом, увеличение давления привело к "запиранию" метана в изолированном участке.

Эксперимент № 3. Он представлял собой повторение эксперимента № 2, но при закрытой трубе. В этом случае давление по обеим сторонам перемычки выравнивалось только через 45 мин. Следовательно, промежуток времени, на который можно "запереть" газы в изолированном участке, зависит от сопротивления перемычки.

Эксперимент № 4. Он представляет собой повторение эксперимента № 3. Отличие заключается в том, что с целью увеличения глубины изменения давления предварительно в наклонной сбойке 3 была навешена перемычка. В этих условиях открывание двери привело к увеличению давления на 489 Па. При закрытой трубе повышение давления в точке 4 сохранялось в течение 2,5 ч, в это время газы не выделялись из изолированного участка.

Результаты экспериментов были использованы в ходе ведения горноспасательных работ при выборе аварийных вентиляционных режимов на различных авариях.

Эксперименты по изучению влияния вентиляционного давления на метановыделение были проведены в Карагандинском бассейне на шахте им. 50-летия Октябрьской революции под руководством М.А. Устинова. При проведении каждого эксперимента на вентиляционном штреке в 10 м от лавы оборудовался основной пункт наблюдений, где периодически замерялось давление воздуха, его скорость движения и содержание метана. Вентиляционное давление изменялось с помощью специальных перемычек, устанавливаемых на свежей и исходящей струях. Воздухопроницаемость и места установки перемычек выбирались заранее с таким расчетом, чтобы расход воздуха в лаве оставался постоянным. Результаты одного из экспериментов приведены ниже.

Место установки перемычки	На поступающей струе	На исходящей струе
Расход воздуха, м ³ /мин	1210	1170
Давление воздуха, Па	97309	98368,7
Содержание метана, %	0,24	0,15
Газовыделение, м ³ /мин	2,94	1,73

Как видно из таблицы, расход воздуха в лаве во время

проведения экспериментов изменялся не более чем на 4%, т.е. практически оставался постоянным. В то же время содержание метана за счет изменения давления уменьшилось в пункте наблюдений в 1,6 раза.

Достаточно значительное повышение давления воздуха на участке может быть получено с помощью вентиляторов местного проветривания. С целью создания локальной зоны высокого давления на участке 21-й восточной лавы (см. рис. 10.1) были установлены две перемычки. Первая была установлена в начале откаточного штрека 24-25, вторая - в конце вентиляционного 21-22. Первая перемычка была изготовлена из бетонитов. Она имела вентиляционную дверь, открываемую в сторону лавы. В нормальных условиях дверь была открыта. Через перемычку были пропущены две металлические трубы диаметром 0,6 и длиной 1 м. К трубам присоединяли два вентилятора местного проветривания типа СВМ6. Перемычка, установленная на вентиляционном штреке, была изготовлена из воздухо непроницаемой ткани. В нормальном режиме проветривания участка перемычка убиралась.

Перед проведением эксперимента включались вентиляторы местного проветривания. Одновременно закрывалась дверь в бетонитовой перемычке и устанавливалась парашютная перемычка на вентиляционном штреке. Сопротивление последней подбиралось таким, чтобы расход воздуха через лаву оставался неизменным. Поскольку вентиляторы подавали воздух в пространство, отделяемое перемычками от остальной части шахты, то давление в нем увеличивалось на 290 Па. Содержание метана в точке сопряжения лавы с вентиляционным штреком снизилось с 1,08 до 0,65%. Эксперимент показал, что после создания локальной зоны высокого давления газовая обстановка на участке изменяется дополнительно за счет перераспределения газоздушных потоков. Так, если в нормальных условиях метан из выработанного пространства 21-й восточной лавы выделялся на вентиляционный штрек на всем его протяжении, то после создания зоны высокого давления он выделялся, в основном, в ту часть штрека, которая была расположена за пределами изолированного пространства. Там содержание метана возросло до 2,3%.

10.2. Рекомендации по уменьшению содержания метана на аварийном участке путем увеличения вентиляционного давления

Способ борьбы с высоким содержанием метана путем повышения вентиляционного давления рекомендуется применять в выработках, примыкающих к газонасыщенным выработанным пространствам или расположенных за последними (по ходу движения воздуха). К ним относятся очистные забои, вентиляционные

штреки, ходки и другие выработки, по которым движется отработанный воздух. В указанных условиях увеличение подачи воздуха на аварийный участок приводит, как правило, к увеличению содержания метана в районе очага пожара.

Не рекомендуется применять способ при пожарах и в выработках, по которым проходит свежий воздух.

Повышать давление воздуха на аварийном участке рекомендуется двумя способами: путем установки в шахте вспомогательного вентилятора или путем изменения режима работы вентилятора главного проветривания.

Сущность первого способа заключается в том, что перед очагом пожара и за ним устанавливаются перемычки. В образовавшейся камере с помощью вентилятора создается избыточное давление. При этом сопротивление перемычек должно быть таким, чтобы расход воздуха на аварийном участке не изменился.

В качестве примера рассмотрим пожар в лаве (рис. 10.5) Перемычка 4 устанавливается на откаточном штреке, перемычка 5 - на вентиляционном. Через перемычку 4 прокладывают трубу 2, к которой подсоединяют вентилятор 1. Обе перемычки имеют двери 3 и 6, которые служат для прохода людей и транспортирования грузов. Кроме того, дверь 6 используется для регулирования расхода воздуха на участке. Избыточное давление воздуха контролируется депрессиомером 7, который соединяется с трубкой, проложенной через перемычку 5.

Проветривание участка осуществляется следующим образом. до окончания всех работ выработки аварийного участка проветриваются обычным способом, для чего двери в перемычках оставляют открытыми. После завершения всех работ включают вентилятор и одновременно закрывают двери 3 и 6. Затем, приоткрывая дверь 6, добиваются того, чтобы скорость движения воздуха на вентиляционном штреке была такой же, как и в нормальном режиме проветривания. Поскольку вентилятор подает воздух в пространство, ограниченное перемычками, то в нем повышается давление.

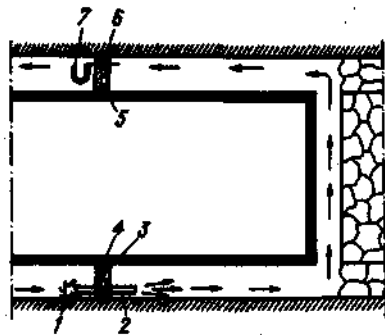


Рис. 10.5. Схема изолированного участка

Направление движения воздуха в выработанном пространстве участка зависит от следующих условий. Если выработанное пространство ограничено с трех сторон нетронутым массивом, то направление движения воздуха в нем не изменяется. Свежий воздух из нижней части лавы заходит в выработанное пространство, омывает его и, обогащенный метаном, выходит в верхнюю часть лавы. Однако в большинстве случаев выработанные пространства угольных шахт аэродинамически связаны друг с другом и с поверхностью. В этих случаях после создания локальной зоны высокого давления воздух из лавы движется в сторону выработанного пространства, а оттуда поступает на соседний участок. В лаву аварийного участка он не возвращается.

Для сокращения потерь воздуха перемычка 4 должна устанавливаться в целиках. Она может быть изготовлена из кирпича, бетонита или дерева. В последнем случае щели следует заполнить глиной или цементным раствором.

Перемычка 5 может быть расположена в любой выработке, в том числе с нарушенными боковыми породами. Иногда можно использовать парашютную перемычку. При выборе места установки перемычки 5 следует учитывать следующее. В некоторых случаях при условии тушения пожара требуется максимально усилить проветривание выработанного пространства (например, с целью уменьшения в нем содержания метана до взрывобезопасной концентрации). Чтобы потери воздуха через перемычку были минимальными, ее следует устанавливать в выработках с ненарушенными боковыми породами.

Для повышения давления принимаются вентиляторы местного проветривания. Если подачи одного вентилятора недостаточно, то включаются несколько параллельно работающих вентиляторов.

Сущность второго способа повышения вентиляционного давления на аварийном участке заключается в следующем. При всасывающем проветривании в шахтных выработках находится разреженный воздух. Уменьшение подачи воздуха в шахту снижает величину разрежения, что эквивалентно увеличению давления воздуха.

В зависимости от числа вентиляторных установок, имеющихся на шахте, могут применяться различные схемы изменения подачи воздуха в шахту. Если шахта проветривается одним вентилятором, то уменьшать подачу воздуха рекомендуется на 10-15%. Как показали наблюдения, такое уменьшение незначительно ухудшает проветривание аварийного участка, но сопровождается существенным изменением давления. К тому же, столь небольшое изменение расхода воздуха на аварийном участке может быть компенсировано путем перераспределения в шахте. Если шахта проветривается несколькими вентиляторами, то применяется следующая схема их работы. Вентилятор, проветривающий аварийный участок, работает нормально, поддерживая заданный расход воздуха. Подача ос-

тальных вентиляторов существенно (на 50-60%) уменьшается. Преимущество этой схемы заключается в том, что одновременно с ростом вентиляционного давления несколько увеличивается расход воздуха на аварийном участке. Дополнительно повысить давление можно путем полной остановки вентиляторов второй группы или, что более эффективнее, переводом их на резервную работу.

При выборе способа увеличения давления воздуха на аварийном участке следует учитывать некоторые особенности. Так, первый способ увеличения вентиляционного давления - с помощью вентиляторов местного проветривания - целесообразно применять в тех случаях, когда значительная часть метана поступает на аварийный участок из выработанных пространств. Дополнительное снижение содержания метана происходит также за счет поглощения его углем и породами. Важным преимуществом способа является то обстоятельство, что в любое время расход воздуха на аварийном участке можно легко увеличить, уменьшая сопротивление перемычки 5 (см. рис. 10.5). Основной недостаток - значительная трудоемкость, связанная с сооружением перемычек и монтажом вентиляторов. Следует также учитывать, что чем больше воздуха проходит через зону высокого давления, тем выше трудоемкость, так как при большем расходе воздуха возрастают габариты вспомогательного вентилятора. Учитывая вышесказанное, способ рекомендуется применять в первую очередь при пожарах в выработках выемочных участков (лавах, вентиляционных штреках) и прилегающих к ним выработанных пространствах.

Второй способ увеличения вентиляционного давления, основанный на изменении режимов работы вентиляторов главного проветривания, обладает незначительной трудоемкостью и, как следствие, высокой оперативностью. Однако ему присущи следующие недостатки: меньшая эффективность и ограниченность действия во времени, связанная с уменьшением сорбционной способности угля. С учетом сказанного, способ увеличения вентиляционного давления путем изменения режимов работы вентиляторов главного проветривания можно рекомендовать только в тех случаях, когда в ходе тушения пожара возникает необходимость в оперативном снижении содержания метана на аварийном участке за сравнительно небольшой промежуток времени (до 10-15 ч).

Создание на аварийном участке локальной зоны высокого давления позволяет повысить эффективность тушения пожаров в выработанных пространствах с помощью инертных газов. Существующий способ тушения подземных пожаров инертными газами, заключающийся в изоляции пожарного участка, выполнении его инертными газами и периодическом или постоянном восполнении потерь указанных газов, недостаточно эффективен при подавлении очагов в труднодоступных местах, особенно в выработанных пространствах. Это связано с тем, что инертный

газ движется в основном по действующим выработкам, так как давление газа в них незначительно. В результате этого, во-первых, в очаге пожара медленно уменьшается содержание кислорода и длительное время поддерживается горение; во-вторых, после прекращения горения из-за плохой вентиляции медленно снижается температура нагретых пород до величины, исключающей рецидив пожара. Когда генератор инертных газов работает по схеме, показанной на рис. 10.5, при всех закрытых проемах в перемычках, эти недостатки отсутствуют. Если выработанное пространство, в котором находится очаг пожара, аэродинамически связано с другими участками, то после создания зоны высокого давления инертный газ будет двигаться в сторону выработанного пространства, вымывая оттуда метан и кислород, интенсивно охлаждая боковые породы.

10.3. Методика расчета содержания метана на аварийном участке при увеличении вентиляционного давления

Выбор вентилятора местного проветривания или увеличения вентиляционного давления. Исходные данные для расчета: Δp - избыточное давление, выбирается в пределах 0,3-0,6 кПа; Q - расход воздуха при нормальном проветривании участка (до возникновения аварии) в месте установки перемычки 4 (см. рис. 10.5), m^3/c ; h - потери при депрессии в нормальном режиме проветривания по пути движения воздуха от места установки перемычки 4 до места установки перемычки 5; берется из материалов депрессионной съемки, кПа.

Расчет выполняется в следующем порядке.

Определяют депрессию перемычки 4

$$h_1 = h + \Delta p, \quad (10.4)$$

затем величину утечек в месте установки вентилятора

$$Q_{\text{ут}} = \sqrt{h_1/R_n}, \quad (10.5)$$

где R_n - аэродинамическое сопротивление перемычки 4.

Аэродинамическое сопротивление перемычек, $H \cdot c^2/m^6$:

кирпичной с врубом	0,4
чураковой без вруба	0,2
дощатой, обшитой резиновой лентой, без вруба	0,02-0,03
дощатой, обмазанной глиной, без вруба	0,04-0,05

Определяется необходимая подача вентилятора

$$Q_0 = 1,2(Q + Q_{\text{ут}}), \quad (10.6)$$

а затем его необходимая депрессия

$$H_0 = 1,2h_1. \quad (10.7)$$

По расчетным значениям Q_0 и H_0 подбирают вентилятор. Точка, характеризующая режим работы вентилятора, должна находиться на площади, ограниченной осями координат и напорной характеристикой вентилятора. Если вентилятор не может обеспечить заданную подачу, то включают несколько однотипных вентиляторов на параллельную работу. Необходимое число их равно

$$n = Q_0 / Q_1 \quad (10.8)$$

где Q_1 - подача вентилятора при депрессии H_0 (определяется по напорной характеристике вентилятора обычным способом) $\text{м}^3/\text{с}$.

Полученное значение n округляется до ближайшей целой величины. Сопротивление перемычки 5 (см. рис. 9.5) определяется по следующей формуле:

$$R_5 \approx 1,5 \Delta p / Q^2 \quad (10.9)$$

По полученному значению R_5 определяют тип перемычки.

Перемычки 4 и 5 должны иметь двери, которые открываются, обеспечивая нормальный режим проветривания аварийного участка до включения вентилятора. Площадь проемов дверей определяется из условия

$$S_{\text{пр}} \approx 0,038 \frac{Q}{\sqrt{h}} \quad (10.10)$$

В перемычке 5 целесообразно иметь дополнительное окно площадью сечения 0,1-0,2 м^2 , используемое для регулирования расхода воздуха.

Пример 1. Требуется подобрать вентилятор для создания зоны повышенного давления на выемочном участке (см. рис. 10.5), расход воздуха на котором в нормальном режиме проветривания $Q = 10 \text{ м}^3/\text{с}$, депрессия $h = 0,4 \cdot 10^3 \text{ Па}$.

Принимаем избыточное давление $\Delta p = 0,5 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Определяем депрессию перемычки по формуле (10.4)

$$h_1 = 0,4 + 0,5 = 0,9 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Принимая, что перемычка будет изготовлена из чураков без вруба, определяем, что $R_5 = 0,2$. По формуле (10.5) определяем величину утечек в районе установки вентилятора

$$Q_{\text{ут}} = \sqrt{0,9/0,2} = 2,1 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определяем подачу вентилятора по формуле (10.6)

$$Q_0 = 1,2 (10 + 2,1) = 14,5 \text{ м}^3/\text{с}$$

а его депрессию по формуле (10.7)

$$H_0 = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Выбираем вентилятор ВМ6М, характеристика которого показана на рис. 10.6. При депрессии 1080 Па подача его составляет $Q_0 = 440 \text{ м}^3/\text{мин}$, что меньше необходимой величины. Поэтому следует включить несколько венти-

ляторов на параллельную работу. Число их составляет $n = 870/440 = 1,98$. Принимаем $n = 2$.

Сопротивление перемычки определяем по формуле (10.9)

$$R_5 \approx \frac{1,5 \cdot 0,5}{10} = 0,0075 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^8$$

По таблице находим, что необходимое сопротивление обеспечивает дощатая перемычка без вруба, обитая прорезиненной лентой.

Минимальная площадь проемов дверей составляет, исходя из формулы (9.10)

$$S_{\text{пр}} = 0,038 \cdot 10 / \sqrt{0,4} = 0,58 \text{ м}^2$$

Расчет вентиляционного давления при изменении режимов работы вентиляторов главного проветривания. Если шахта проветривается одним вентилятором, то расчет выполняется в следующем порядке.

Исходя из конкретных условий, задается величина уменьшения подачи вентилятора главного проветривания. Новое значение последней определяется по формуле

$$Q_1' = Q_1 (1 - 0,01f), \quad (10.11)$$

где Q_1' - подача вентилятора главного проветривания после снижения подачи воздуха в шахту, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_1 - то же в нормальном режиме проветривания; f - величина уменьшения подачи вентилятора, %.

Используя полученные значения Q_1 и материалы депрессионных съемок, можно определить по характеристике вен-

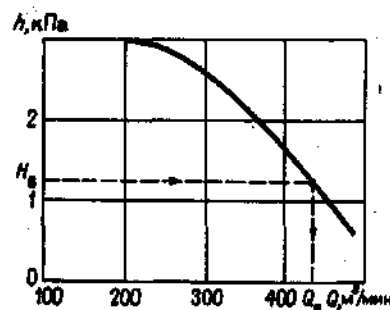


Рис. 10.6. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМ6М

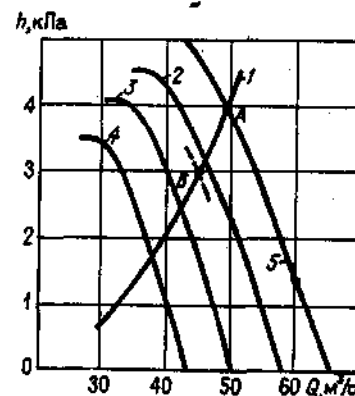


Рис. 10.7. Аэродинамические характеристики вентилятора главного проветривания:

1 - аэродинамическая характеристика сети; 2, 3 - характеристики вентилятора; 4 - 14-й конвейерный штрех; 5 - 14-й вентиляционный штрех

тилятора необходимый угол установки лопаток рабочего колеса или направляющего аппарата.

Определяется величина изменения вентиляционного давления на аварийном участке

$$\Delta p = \sum h \left[1 - \left(\frac{Q_0^2}{Q_0^2} \right) \right], \quad (10.12)$$

где $\sum h$ - сумма потерь депрессий по ходу движения воздуха от поверхности до аварийного участка после уменьшения подачи вентилятора, Па.

Если шахта проветривается несколькими вентиляторами, то изменение давления определяется опытным путем или моделированием вентиляционной сети на ЭВМ. В последнем случае величина измерения давления на аварийном участке определяется из выражения

$$\Delta p = \sum h - \sum h', \quad (10.13)$$

где $\sum h'$ - сумма потерь депрессий по ходу движения воздуха от поверхности до аварийного участка после уменьшения подачи вентилятора, Па.

Пример 2. Определить изменения вентиляционного давления после уменьшения подачи вентилятора главного проветривания на 10%. Потери депрессии от поверхности до аварийного участка - 1,6 кПа.

На рис. 10.7 режим работы вентилятора показан точкой А. Последней соответствует подача вентилятора, равная 50 м³/с.

По формуле (9.11) находим новое значение подачи вентилятора

$$Q_0' = 50(1 - 0,01 \cdot 10) = 45 \text{ м}^3/\text{с}.$$

На кривой 1, являющейся характеристикой вентиляционной сети, расходу воздуха 45 м³/с соответствует точка В. Она расположена между кривыми 2 и 3, являющимися характеристиками вентилятора при углах установки лопаток рабочего колеса соответственно 40 и 35°. Путем интерполирования находим, что требуемая подача вентилятора обеспечивается при угле установки лопаток рабочего колеса 38°. Характеристика вентилятора, соответствующая этому углу, показана на рис. 10.6 пунктиром.

По формуле (10.12) определяем величину изменения вентиляционного давления на аварийном участке

$$\Delta p = 1,6[1 - (45/50)^2] = 0,3 \cdot 10^3 \text{ Па}.$$

Расчет содержания метана на аварийном участке после увеличения вентиляционного давления. Влияние увеличения вентиляционного давления на газовую обстановку аварийного участка оценивается в зависимости от способа изменения вентиляционного давления и наличия аэродинамических связей выработанного пространства с соседними участками.

Если вентиляционное давление изменяется с помощью вентилятора главного проветривания, то содержание метана в рассматриваемой выработке определяется по формуле

$$c_1 = c_0 / (1 + ab \Delta p), \quad (10.14)$$

где c_0 - начальное (до изменения давления) содержание метана в районе очага пожара, %; b - коэффициент, учитывающий место расположения очага пожара; Δp - величина повышения вентиляционного давления, 10³ Па; a - коэффициент, учитывающий марку угля, его значения приведены ниже.

Выход летучих, %	5	10	15	20	25	30	40	50
a	1	0,85	0,67	0,58	0,5	0,41	0,29	0,25

Коэффициент b для выработок:

очистной забой	0,7
подготовительный забой	0,5
часть вентиляционного штрека, прилегающая к даве (длиной около 50 м)	0,9
остальная часть вентиляционного штрека	1,4
полоса выработанного пространства шириной 2-3 м, прилегающая к очистному забою	1,8
остальная часть выработанного пространства	2,5
выработки с исходящей струей, расположенная за пределами выемочных участков	1

Если вентиляционное давление изменяется с помощью вентиляторов местного проветривания, то учитываются связи аварийного участка с соседними. При отсутствии таких связей расчет ведут по формуле (10.14). При наличии естественных или искусственных аэродинамических связей содержание метана на аварийном участке рассчитывают по формуле

$$c_1 = K c_0, \quad (10.15)$$

где K - коэффициент, учитывающий долю газовыделения из разрабатываемого пласта от общего газовыделения в выработки, расположенные между перемычкой А (см. рис. 10.5) и очагом пожара,

$$K = I_1 / (I_1 + I_2), \quad (10.16)$$

здесь I_1 и I_2 - газовыделение соответственно из разрабатываемого пласта и выработанного пространства, м³/мин.

Коэффициент K принимается на основе материалов газовых съемок, проведенных на данной шахте или в аналогичных условиях. При их отсутствии принимаются по шахтным данным.

Пример 3. Очаг пожара расположен на вентиляционном штреке в 100 м от лавы. Содержание метана в районе очага пожара достигло 1,8%. Требуется определить содержание метана после повышения давления воздуха с помощью вентилятора главного проветривания на 0,3 кПа (см. предыдущий пример). Уголь - антрацит с содержанием 10% летучих.

Известно, что $a = 0,9$ и $b = 0,014$.

По формуле (10.14) определяем

$$c_1 = \frac{1,8}{1 + 0,95 \cdot 1,4 \cdot 0,3} = 1,3\%.$$

Пример 4. Для условий предыдущего примера определить содержание метана, если на аварийном участке создана локальная зона высокого дав-

ления воздуха с помощью вентиляторов местного проветривания по схеме, показанной на рис. 10.4 (очаг пожара находится внутри указанной зоны).

Анализ схемы аварийного участка показывает, что метан к очагу пожара поступает как из разрабатываемого пласта, так и из выработанного пространства лавы. Анализ материалов газовых съемок показал, что в данных условиях около 70% метана выделяется из выработанного пространства. Следовательно, $K = 0,3$.

Путем анализа планов горных работ, материалов депрессионных съемок и опросов работников службы ВТБ определяем, что выработанное пространство аварийного участка аэродинамически связано с выработанными пространствами, расположенными за пределами аварийного участка.

Тогда по формуле (10.15) находим, что

$$c_2 = 0,3 \cdot 1,3 = 0,39\%.$$

После создания локальной зоны высокого давления воздуха содержание метана снизится на аварийном участке с 1,8 до 0,39%, т.е. в 4,6 раза.

10.4. Снижение содержания метана в аварийных условиях (опыт применения предлагаемого способа)

Шахта "Байдаевская" ПО "ЮжКузбассуголь". Пожар начался в выработанном пространстве лавы № 14 (рис. 10.8) от самовозгорания. Лава отработывалась обратным ходом. Свежий воздух на ее проветривание поступал по 14-му вентиляционному штреку, а отработанный выдавался по 15-му вентиляционному штреку. Отход лавы от разрезной печи составлял 32 м.

Попытки потушить пожар существующими способами не дали положительных результатов. Сначала в выработанное пространство по специальным перфорированным трубам подавали воду и пену. Однако погасить огонь не удалось, поскольку метан горел в различных местах выработанного пространства и в образовавшихся куполах. Затем было решено подать с помощью генератора инертных газов ГИГ-4 парогазовую смесь. Для этого участок был изолирован временными перемышками. Парогазовую смесь подавали по вентиляционному штреку. Работа генератора продолжалась около двух суток, причем все это время в пожарном участке поддерживалась концентрация кислорода от 3 до 6%. Однако после вскрытия и проветривания участка горение метана продолжалось. В выработанном пространстве периодически происходили взрывы метана, пламя выбрасывалось в лаву. Содержание газов, %, в выходящем из лавы воздухе было следующим: метана - 1, оксида углерода - 0,01, диоксида углерода - 0,4. Содержание метана в погашаемой части 14-го конвейерного уклона составляло 5,8%, содержание газов в районе очага пожара было неизвестным.

Анализ материалов депрессионных съемок и планов горных работ показал, что метан в выработанное пространство лавы № 14, в котором находился очаг пожара, поступал в основном из выработанного пространства отработанной лавы № 13.

С целью недопущения поступления метана в выработанное

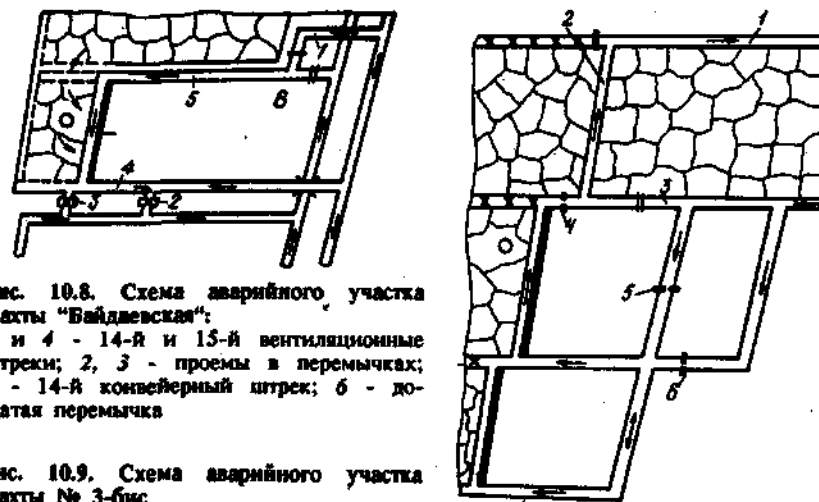


Рис. 10.8. Схема аварийного участка шахты "Байдаевская":

1 и 4 - 14-й и 15-й вентиляционные штреки; 2, 3 - проемы в перемышках; 5 - 14-й конвейерный штрек; 6 - дощатая перемышка

Рис. 10.9. Схема аварийного участка шахты № 3-бис

пространство лавы № 14 и разгазирования последнего было решено создать на аварийном участке зону высокого давления воздуха. Для этой цели на вентиляционном штреке № 14 была сооружена дощатая перемышка. Через нее были проложены две трубы, к которым подсоединили два вентилятора местного проветривания (ВМ6 и СВМ6). После включения вентиляторов проветривание участка осуществлялось следующим образом. Основная часть воздуха, омывающая лаву № 14 и ее выработанное пространство, поступала на 14-й конвейерный и 15-й вентиляционный штреки, а затем через проемы в перемышках 2 и 3 выводилась в общую исходящую струю. Поскольку перемышки 2 и 3 создавали сопротивление движущемуся воздуху, то в лаве и дополнительных выработках, ограниченных перемышками, образовалась зона повышенного давления воздуха. Из-за этого часть свежего воздуха направлялась из 14-го вентиляционного штрека в выработанное пространство бывшей лавы № 13, препятствуя поступлению метана из нее к очагу пожара.

Через 8 ч после включения вентиляторов местного проветривания содержание метана в погашенной части 14-го конвейерного штрека снизилось с 5,8 до 0,9%. Вспышки метана в выработанном пространстве прекратились. Этим были созданы условия для нормальной работы горноспасателей.

После этого были пройдены по обрушенным породам выработанного пространства лавы две так называемые пожарные выработки. Одной из них были вскрыты и охлаждены нагретые породы. Дальнейшие наблюдения показали, что в выработках участка окись углерода отсутствует. В связи с этим были начаты восстановительные работы.

Шахта № 3-бис ПО "Торезантрацит". Описанный способ борьбы

с высокими концентрациями метана был применен при тушении пожара на шахте № 3-бис. Пожар возник в верхней части 9-й западной лавы пл. k_2 (рис. 10.9). Последний имеет сложное строение, мощность его 1,2-1,4 м. Общее метановыделение на выемочном участке составляло 24,6 м³/мин, из них 11,8 м³/мин отводилось дегазационной системой. Проветривалась 9-я западная лава по возвратноточной схеме. Расход воздуха при этом составлял 600 м³/мин. Горел метан в верхней части выработанного пространства, примыкающей к лаве. Периодически наблюдались выбросы пламени в рабочее пространство лавы.

В начальный момент активно тушили пожар горный мастер с двумя рабочими - членами вспомогательной горноспасательной команды. Однако их усилий оказалось недостаточно. Прибывшие горноспасатели продолжали тушить пожар водой. Для этой цели проложили рукавные линии к очагу пожара с 8-го и 9-го горизонтов. На аварийном участке установили постоянный контроль за газовым режимом и расходом воздуха.

Одновременно принимались меры по уменьшению содержания метана в районе очага пожара. Подачу воздуха в 9-ю западную лаву увеличили с 600 до 800 м³/мин. Скважину, пробуренную накануне аварии с 8-го западного откаточного штрека в сторону выработанного пространства, подключили к дегазационному трубопроводу. Доставили буровой станок и начали бурить новые скважины в зону очага пожара. Однако создать широкую сеть скважин не удалось из-за сдвижения горных пород и образовавшихся в них трещин. Обстановка на участке продолжала ухудшаться. Задымленность на 8-м западном откаточном штреке увеличилась, а температура возросла с 32 до 36 °С. Содержание метана в исходящей струе 9-й западной лавы сохранилось на уровне 1%, а погашенной части вентиляционного штрека достигло 2,5%.

Попытки оконтурить очаг пожара путем прохождения печей в верхней части выработанного пространства не дали положительных результатов. Породы кровли постоянно обрушались, что сдерживало проходческие работы и создавало опасность для работающих людей. Применение огнегасящего порошка и воздушно-механической пены не привело к заметному улучшению обстановки из-за расположения очага пожара в труднодоступном месте.

На основе анализа материалов депрессионной съемки и плана горных работ шахты можно было предположить наличие аэродинамической связи между выработанным пространством 9-й западной лавы и 8-м западным вентиляционным штреком (см. рис. 10.9). В этих условиях, если создать в лаве избыточное давление, метан будет выноситься в общую исходящую струю, минуя очаг пожара. О сопротивлении выработанного пространства, через которое предполагалось отводить метан, можно судить по утечкам воздуха через него. Так как последние рассредоточены и не поддаются непосредственным измерениям,

то для их определения применен косвенный метод. Он основан на положении, что содержание метана в замерной станции А по сравнению со станцией В увеличивается за счет выноса метана утечками воздуха.

На станциях А и В были замерены расходы воздуха и концентрации метана. Дополнительно определено содержание метана в утечках воздуха через выработанное пространство выше очага пожара и с 8-го на 7-й западный откаточный штреки. Результаты замеров приведены в табл. 10.1.

Искомая величина утечек воздуха определялась применительно к схеме аварийного участка, исходя из выражения

$$Q_{ут} = Q - Q_1 \frac{c_1 - c_4}{c_3 - c_4} - Q_2 \frac{c_2 - c_4}{c_3 - c_4},$$

и оказалась равной 120 м³/мин.

Чтобы можно было повысить давление на аварийном участке, необходимо изолировать его от остальной сети горных выработок. С этой целью установили три взрывоустойчивые гипсовые перемычки (№ 1, 2 и 3). Все они имели проемы, сечения которых рассчитаны по существующей методике.

Для увеличения давления использовали также генераторы инертного газа ГИГ-4, обеспечивающие снижение содержания кислорода на аварийном участке. Это способствовало также тушению пожара и исключало взрыв метановоздушной смеси. Расчетом установлено, что для существенного повышения давления необходимы два генератора, включенные в параллельную работу. В качестве исходной информации при расчетах использовали результаты определения утечек воздуха через выработанное пространство, о которых говорилось выше.

Генераторы инертного газа установили на 6-м западном откаточном штреке и с помощью трубопроводов соединили с проемами, имеющимися в перемычке № 2. До запуска генераторов аварийный участок проветривался через открытые проемы в перемычках № 1 и 3, сечения которых обеспечивали пропуск

Результаты замеров

Т а б л и ц а 10.1

Место замера	Расход воздуха, м ³ /мин	Содержание метана, %
7-й западный откаточный штрек (замерная станция А)	$Q_1 = 1600$	$c = 0,9$
Вентиляционный ходок (замерная станция В)	$Q_2 = 1040$	$c_2 = 0,6$
Выработанное пространство: выше очага пожара	-	$c_3 = 6$
выше 8-го западного откаточного штрека	-	$c_4 = 0,2$

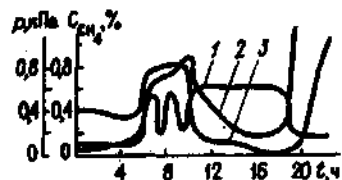


Рис. 10.10. Графики изменения давления p (1) и содержания метана C_{CH_4} (2; 3) в аварийном участке

количества воздуха, необходимого для разбавления метана. Генераторы включили в работу при закрытых проемах в перемышке № 3. Вентиляционная струя была закорочена, и свежий воздух с 8-го западного откаточного штрека поступал в вентиляционный ходок. Это обеспечило хорошие условия для работы людей, обслуживающих генераторы. После однократного газообмена в выработках пожарного участка закрыли проем в перемышке № 1. При этом газоздушные потоки отводились через выработанное пространство на вентиляционный ходок, где они разбавлялись сжатым воздухом, поступавшим по 8-му западному откаточному штреку.

Изолированное пространство аварийного участка находилось под избыточным давлением 400-420 Па по отношению к давлению в окружающих выработках. Это обусловило оттеснение метана от очага пожара и выдачу его в общенсходящую вентиляционную струю через выработанное пространство. Под действием высокого давления метан вымывался из полостей выработанного пространства, недоступных при обычном способе проветривания участка. При этом усиливалась также эффективность работы дегазационной системы на пожарном участке, так как на 400 Па увеличивался перепад давлений в скважинах и дегазационном трубопроводе.

Динамика изменения давления и содержания метана в изолированном участке показана на рис. 10.10. Как видно из рисунка, можно выделить два периода работы генераторов. Первый, продолжительность которого составляла 4 ч, характеризуется тем, что после каждых 30-40 мин работы следовала остановка такой же продолжительности. При включении генераторов давление увеличивалось, после выключения — уменьшалось. Содержание метана резко возросло как в лаве (см. рис. 10.10, кривая 3), так и на вентиляционном штреке за перемышкой № 1 (кривая 2). Это можно объяснить резким (в 2,5-3 раза) ослаблением проветривания участка после закрытия проемов в перемышках.

Второй период продолжительностью 9 ч характеризовался устойчивой работой генераторов и устойчивым избыточным давлением. Содержание метана в пунктах наблюдений уменьшалось с 0,8-0,9 до 0,05-0,15%. Следует отметить, что в этот период содержание метана в изолированном участке было ниже, чем перед закрытием проемов в перемышках. Выключение генераторов привело к резкому увеличению концентрации метана

на аварийном участке. Таким образом, путем повышения вентиляционного давления удалось существенно снизить содержание метана на аварийном участке, что способствовало его тушению.

10.5. Методика определения допустимого изменения расхода воздуха на аварийном участке

В ходе ликвидации аварии расходы воздуха в горных выработках часто изменяются. Переход на аварийный режим проветривания сопровождается во многих случаях уменьшением расходов воздуха в горных выработках. На газовых шахтах это может привести к недопустимому повышению содержания метана. Кроме того, снижение расхода воздуха может послужить причиной образования слоевых скоплений метана в выработках аварийного участка. В отдельных случаях расход воздуха на аварийном участке может уменьшиться самопроизвольно, например, из-за завалов, противодействия тепловой депрессии, влияния средств пожаротушения и др. Содержание метана при этом может превысить допустимый предел, что вынуждает усиливать проветривание аварийного участка. Как уже отмечалось, резкое увеличение подачи воздуха сопровождается в определенных условиях таким же резким повышением содержания метана. Это явление наблюдается на участках, где имеются газонасыщенные выработанные пространства. После усиления проветривания из них активно вымывается метан при практически неизменном вентиляционном давлении.

Повышение содержания метана, вследствие увеличения подачи воздуха, может наблюдаться в верхних частях лавы, на вентиляционных штреках, по которым движется исходящая струя воздуха.

Таким образом, расход воздуха на аварийном участке можно изменять лишь в определенных пределах. При этом, конечно, содержание метана в любой выработке аварийного участка не должно превышать 2%. Определение допустимого изменения расхода воздуха производится по изложенной ниже методике. При этом предполагается, что вентиляционное давление на аварийном участке изменяется не существенно. Влиянием вентиляционного давления можно пренебречь в тех случаях, когда оно изменяется не более чем на 50-80 Па.

Наиболее высокое содержание метана после изменения режима проветривания наблюдается на выемочных участках. Чтобы определить необходимый расход воздуха, после проведения закорачивания вентиляционных струй, местного реверсирования, установки перемычек (в том числе при изоляции участка) требуется выполнение специальных расчетов.

Исходные данные для расчета:

Q_0 и Q_1 — средние расходы воздуха соответственно в исходящих струях лавы и участка до изменения режима провет-

Значение коэффициентов a и b

Вентиляционный маневр	Длительность проветривания в новом режиме	a	b
Уменьшение подачи воздуха	< 5 ч	$\frac{I_{yx}}{I_{ox}} \cdot \frac{Q_{x1}}{Q_1}$	1
То же	> 5 ч	1	1
Увеличение подачи воздуха	Не ограничена	-1	0
Общешахтное реверсирование вентиляционной струи	Не ограничена	$\frac{I_{yx}}{I_{ox}} \cdot \frac{Q_{x1}}{Q_1}$	0
Местное реверсирование и переход от реверсивного к нормальному режиму проветривания	Не ограничена	1	0

ривания, $\text{м}^3/\text{мин}$; I_{ox} и I_{yx} - средние фактические газы-деления соответственно в очистной выработке и на участке, $\text{м}^3/\text{мин}$; c_0 - содержание метана в поступающей на выемочный участок струе воздуха, %; S_0 - площадь поперечного сечения выработки с исходящей струей (в 5-20 м от очистного забоя), м^2 ; H_x - высота выработки в том месте, где измеряется площадь сечения выработки, м.

Порядок расчета следующий. Определяют скорость, $\text{м}/\text{с}$, движения исходящей струи лавы до изменения режима проветривания

$$v_{x1} = Q_{x1} / (60S_x) \quad (10.17)$$

Определяют среднее содержание метана, %, в исходящей струе лавы до изменения режима проветривания

$$c_{x1} = c_0 + 100I_{ox}/Q_{x1} \quad (10.18)$$

Находят по номограмме (рис. 10.11) с использованием данных v_{x1} , H_x и c_x допустимую глубину регулирования воздуха в лаве K_x . Определяют глубину регулирования воздуха на участке по следующей формуле:

$$K_{yx} = a \left[\frac{(2-c_x)Q_1}{100 I_{yx}} \right] - 1 + b, \quad (10.19)$$

где коэффициенты уравнения a и b определяют по табл. 10.2 в зависимости от вентиляционного маневра.

Из двух значений K_x и K_{yx} выбирают меньшее:

$$K = \min(K_x; K_{yx}) \quad (10.20)$$

Определяют минимально допустимое количество воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$, на участке после изменения режима проветривания:

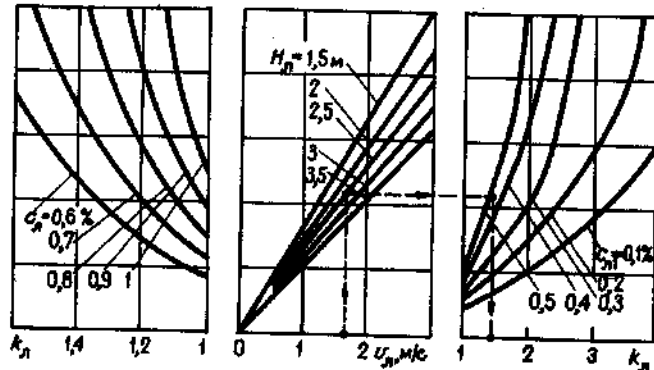


Рис. 10.11. Номограмма для определения допустимой глубины регулирования расхода воздуха

$$Q_2 = Q_1/K. \quad (10.21)$$

При пользовании номограммой (см. рис. 10.11) следует иметь в виду, что газовая обстановка на участке должна позволять производить уменьшение количества воздуха. Если по номограмме нельзя установить, какова допустимая глубина регулирования воздуха в лаве, то это будет указывать на наличие слоевых скопления метана на вентиляционном штреке вблизи лавы. Поэтому дальнейшее уменьшение количества воздуха недопустимо ($K_x = 1$).

Если при расчете по формуле (3.19) при $a = 1$, $b = 0$ получим отрицательное значение K_{yx} , то уровень увеличения расхода воздуха можно считать неограниченным.

Пример 1. Определить минимально допустимое количество воздуха при местном реверсировании вентиляционных струй на участке, используя следующие данные: $Q_{x1} = 500 \text{ м}^3/\text{мин}$, $Q_{yx} = 700 \text{ м}^3/\text{мин}$, $I_{ox} = 4 \text{ м}^3/\text{мин}$, $I_{yx} = 6 \text{ м}^3/\text{мин}$, $c_0 = 0\%$, $S_x = 9 \text{ м}^2$, $H_x = 3 \text{ м}$.

Находим по формулам (9.17) и (9.18) скорость исходящей струи лавы

$$v_{x1} = \frac{500}{60 \cdot 9} = 0,92 \text{ м}/\text{с}.$$

и содержание в ней метана до изменения режима проветривания

$$c_{x1} = 0 + 100 \frac{4}{500} = 0,8\%.$$

Определяем по номограмме (см. рис. 10.9), используя данные $v_{x1} = 0,92 \text{ м}/\text{с}$, $H_x = 3 \text{ м}$, $c_x = 0,8\%$, допустимую глубину регулирования воздуха в лаве $K_x = 1$.

Определяем допустимую глубину регулирования воздуха на участке по формуле (10.19), принимая $a = 1$, $b = 0$,

$$K_{yx} = 1 \left[\frac{(2-0)700}{100 \cdot 6} - 1 \right] + 0 = 1,3.$$

Выбираем по формуле (10.20) меньшее значение

$$K = \min(1; 1,3) = 1$$

Таким образом, в реверсивном режиме проветривания количество воздуха на участке должно сохраниться прежним, соответствующим

$$Q_2 = Q_1 = 700 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

10.6. Расчет времени загазирования аварийного участка метаном после сокращения расхода воздуха

При закорачивании вентиляционных струй или изоляции аварийного участка расход воздуха уменьшается, что в некоторых случаях приводит к загазированию лавы и вентиляционного штрека до предельно допустимого или взрывоопасного содержания метана. Время загазирования может быть определено по излагаемой ниже методике.

Исходные данные для расчета:

Q_2 и Q_1 - средние количества воздуха соответственно в исходящих струях лавы и участка, $\text{м}^3/\text{мин}$;

$I_{\text{оч}}$ и $I_{\text{г}}$ - средние фактические газовыделения соответственно в очистной выработке и на выемочном участке, $\text{м}^3/\text{мин}$;

c_0 - содержание метана в поступающей на выемочный участок струе воздуха, %;

c_n - предельно допустимое (2) или взрывоопасное (4, 3) содержание метана, %;

Q_2 - расход воздуха на участке после уменьшения его проветривания, $\text{м}^3/\text{мин}$;

l и b - соответственно длина лавы и ширина рабочего пространства, м;

m - мощность разрабатываемого пласта, м;

L - длина вентиляционного штрека, м;

S - средняя площадь сечения вентиляционного штрека, м^2 .

Порядок расчета следующий.

Определяют установившееся содержание метана, %, в лаве до изменения режима проветривания

$$c_{n1} = c_0 + 100I_{\text{оч}}/Q_{n1} \quad (10.22)$$

Определяют установившееся содержание метана, %, в исходящей струе участка до его проветривания:

$$c_1 = c_0 + 100I_{\text{г}}/Q_{n1} \quad (10.23)$$

Определяют установившееся содержание метана, %, в лаве после сокращения количества воздуха:

$$c_2 = c_0 + 100I_{\text{г}}/Q_2 \quad (10.24)$$

Если $c_{n2} > c_n$, то определяем время, мин, загазирования лавы до предельно допустимого или взрывоопасного содержания метана:

$$t_n = \frac{ml(b+20)}{KQ} \ln \left(\frac{c_{n2} - c_{n1}}{c_n - c_0} \right), \quad (10.25)$$

находят время, мин, загазирования вентиляционного штрека до заданного содержания:

$$t_{\text{ш}} = \frac{LS}{Q_2} - \frac{ml(b+20)}{KQ_2} \ln \left(1 - \frac{c_n - c_1}{c_{n2} - c_{n1}} \right). \quad (10.26)$$

Пример 1. Определить время загазирования аварийного участка до содержания метана $c_n = 2\%$ в результате закорачивания вентиляционных струй, используя следующие исходные данные:

$$Q_{n1} = 480 \text{ м}^3/\text{мин}, Q_1 = 800 \text{ м}^3/\text{мин}, I_{\text{оч}} = 3 \text{ м}^3/\text{мин};$$

$$I_{\text{г}} = 8,8 \text{ м}^3/\text{мин}, Q_2 = 200 \text{ м}^3/\text{мин}, c_0 = 0,1\%,$$

$$l = 120 \text{ м}, m = 1,2 \text{ м}, b = 3 \text{ м}, L = 900 \text{ м}, S = 8,2 \text{ м}^2.$$

В соответствии с методикой определяем согласно (10.22), (10.23) и (10.24) установившееся содержание метана до закорачивания вентиляционных струй в лаве

$$c_{n1} = 0,1 + 100 \cdot 4/480 = 0,93\%$$

и на участке

$$c_1 = 0,1 + 100 \cdot 8,8/800 = 1,2\%.$$

а также в лаве после изменения режима проветривания

$$c_{n2} = 0,1 + (0,93 - 0,1).$$

Поскольку $c_{n2} = 3,4 > c_n = 2\%$, находим по формуле (10.25) время загазирования лавы:

$$t_n = \frac{1,2 \cdot 120(3+20)}{8 \cdot 200} \ln \left(\frac{3,4 - 0,93}{3,4 - 2,0} \right) = 12 \text{ мин}$$

и находим, используя формулу (10.26), время загазирования вентиляционного штрека:

$$t_{\text{ш}} = \frac{900 \cdot 8}{200} - \frac{1,2 \cdot 120(3+2,5)}{4,80 \cdot 200/800} \ln \left(\frac{2 - 1,2}{3,4 - 0,93} \right) = 49 \text{ мин.}$$

Рассмотренный пример иллюстрирует характер загазирования участка. Предельно допустимое содержание метана образуется сначала в лаве, а затем в виде газовой волны распространяется по всему вентиляционному штреку. Поэтому под длиной L можно понимать любое расстояние от лавы до интересующего сечения штрека.

11. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ПОДЗЕМНЫМИ ПОЖАРАМИ

11.1. Метод ускорения вскрытия изолированных пожарных участков

Большинство пожаров на угольных шахтах ликвидируют активным путем непосредственного воздействия на очаг горения огнетушительными средствами. Однако при неблагоприятных

условиях (недоступность очага горения, угроза взрыва метановоздушной смеси и угольной пыли и др.) ликвидировать пожар в начальной стадии не удастся, окончательное его тушение осуществляется методом изоляции аварийного участка. При этом исключаются из эксплуатации подготовленные к выемке запасы угля, теряются горные выработки и горношахтное оборудование, сдерживается развитие горных работ.

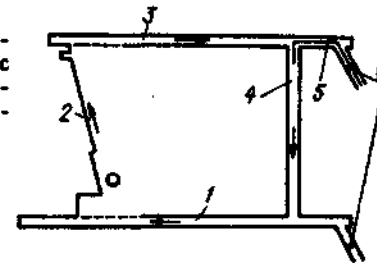
Проведенные исследования показали следующее. При традиционной изоляции аварийного участка к очагу горения на протяжении всего периода изоляции даже при достаточно высокой герметичности изолирующих перемычек поступает как минимум 20-30 м³/мин воздуха. Ввиду постоянного притока кислорода длительное время поддерживается процесс горения. С другой стороны, при столь малых утечках воздуха происходит незначительный вынос тепла, аккумулированного породами в районе очага пожара. Охлаждение горных пород происходит в основном за счет рассеивания тепла в горный массив. Этим и объясняется столь длительное сокращение сроков изоляции аварийных участков.

Авторами разработан метод сокращения сроков изоляции подземных пожаров посредством создания рециркуляции газобразных продуктов горения в аварийном участке. Суть его заключается в многократной подаче к очагу пожара газовой смеси с низким содержанием кислорода, что способствует прекращению горения, приводит к перераспределению тепла по длине выработки и частичному выносу его за пределы изолированного объема, а в итоге - к ускорению ликвидации подземного пожара.

Рециркуляцию газовой смеси можно создать за счет тепловой депрессии пожара или за счет механических источников тяги. В первом случае внутри изолированного участка необходимо иметь замкнутый контур, включающий выработку, параллельную горячей (уклон, разрез лавы и др.). Для усиления рециркуляции в эту выработку можно подавать жидкий азот или углекислоту. При рециркуляции, осуществляемой за счет тепловой депрессии, реализуется идея использования источника тяги, вызванного пожаром, для его же собственной ликвидации. Эта идея подтверждена опытом тушения пожаров на шахтах "Миусинская" ПО "Донбассантрацит" и "Постниковская" ПО "Шахтерскантрацит".

В зависимости от мощности очага пожара, угла наклона и длины выработки, в которой возник пожар, величина тепловой депрессии может быть значительна (достигать нескольких сотен паскалей). При этом, если аварийный участок изолировать с созданием замкнутого контура (рис. 11.1), включающего выработки 2, 3, 4 и 5, то в нем возникает рециркуляция газобразных продуктов горения. Условие возникновения рециркуляции газовой смеси при восходящем проветривании аварийного участка выражается неравенством

Рис. 11.1. Схема аварийного участка: 1 - откаточный штрек; 2 - лава; 3 - вентиляционный штрек; 4 - выработка с нисходящим потоком газов; 5 - трубопровод для подачи жидкого азота; 6 - изолирующие перемычки



$$h_n^* > h_n R_1 / R_n, \quad (11.1)$$

где h_n^* - тепловая депрессия пожара к моменту изоляции аварийного участка, Па; R_1 - аэродинамическое сопротивление ветви, включающей выработки 2, 3 и 4, Н·с²/м⁶; R_n - аэродинамическое сопротивление изолирующих перемычек, Н·с²/м⁶; h_n - депрессия аварийного участка после его изоляции, обусловленная работой вентилятора главного проветривания, Па.

Для оперативного контроля тепловых и газовых параметров перед изоляцией участка в начале и в конце параллельной выработки устанавливают датчики температуры рециркулирующего потока и прокладывают трубки для дистанционного отбора проб газов на поступающей в очаг пожара и исходящей из него вентиляционной струе. Эти же трубки могут быть использованы для измерения депрессии h_n в параллельной ветви AD.

Используя данные измерений, находят (для условий изоляции пожара в выработке с восходящим проветриванием):

расход газовой смеси Q_2^g в выработке AD:

$$Q_2^g = \sqrt{h_n / R_2}; \quad (11.2)$$

величину утечек свежего воздуха Q_1^g через изолированный участок:

$$Q_1^g = \frac{Q_2^g (c_n - c_{nc})}{c_y - c_{nc}}; \quad (11.3)$$

расход газовой смеси Q^g в аварийной выработке:

$$Q^g = Q_1^g + Q_2^g; \quad (11.4)$$

тепловую депрессию h_r , действующую в изолированном участке в данный момент:

$$h_r = R_1 (Q^g)^2 + h_n; \quad (11.5)$$

среднюю температуру t_{cp} газового потока в аварийной выработке за очагом пожара:

$$t_{cp} = \frac{1,25L \sin \alpha t_0 + 273 h_r}{1,25L \sin \alpha - h_r}. \quad (11.6)$$

В выражениях (11.3) и (11.6) приняты следующие обозначения: c_n , c_{nc} , c_y - концентрация какого-либо газа (например,

кислорода) соответственно в поступающей в очаг пожара и исходящей из него струях и в свежем воздухе; L - длина выработки за очагом пожара, m ; t_0 - средняя температура газового потока в выработке AD .

С течением времени по мере затухания пожара и охлаждения горных пород тепловая депрессия уменьшается, что приводит к сокращению расхода газов в рециркулирующем потоке. С целью повышения эффективности рециркуляции на данной стадии локализации пожара в верхнюю часть наклонной выработки AD по трубопроводу 5 (см. рис. 7.1) рекомендуется подавать жидкий инертный газ.

Однако в подавляющем большинстве случаев ускорение ликвидации изолированных подземных пожаров может быть достигнуто за счет рециркуляции газовой смеси с помощью механических источников тяги: вентиляторов ВМЦГ7, пневматических вентиляторов ВМП6 или эжектора ЭДДС. Преимущество последних (ВМП6 и ЭДДС) состоит в том, что в качестве источника энергии используется газообразный азот, способствующий созданию и поддержанию инертной среды в изолированном участке. Одновременно достигается снижение температуры газовой смеси, а следовательно, более интенсивное охлаждение выработок в зоне горения.

Схема рециркуляции с использованием механического источника тяги заключается в следующем. Приемные трубы в изолирующих перемышках выработок с поступающей и исходящей струей соединяются трубопроводом диаметром 600 мм. Вентилятор для создания рециркуляции следует располагать так, чтобы его действие совпадало с напором вентилятора главного проветривания и тепловой депрессией. В этом случае происходит выравнивание давлений на изолирующих перемышках и тем самым сокращение утечек (поступление в изолирующий участок свежего воздуха). Кроме вентилятора и трубопровода в комплект оборудования для рециркуляции входит теплообменник и устройство для подачи жидкого или газообразного азота. Доставка жидкого азота осуществляется транспортными цистернами типа ЦТК.

В течение всего времени рециркуляции газовой смеси осуществляется оперативный контроль следующих параметров: температуры газов во всасывающем и нагнетательном трубопроводах (у перемычек), температуры воды на входе и выходе из теплообменника, расхода газовой смеси и перепада давления ее на перемышках.

Для оценки эффективности предложенного метода ускорения ликвидации изолированных подземных пожаров и определения времени их вскрытия разработана математическая модель тепло-массопереноса в рециркулирующем потоке и окружающем горном массиве, описываемая следующими уравнениями:

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} + v \frac{\partial T_1}{\partial x} = a_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \right), \quad (11.7)$$

$$0 \leq r \leq R_0;$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = a_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} \right), \quad r \geq R_0, \quad (11.8)$$

где T_1 и T_2 - температура соответственно вентиляционного потока и горных пород в различных точках; τ - время с момента возникновения пожара; x - расстояние от места замыкания вентиляционного потока по ходу его движения; r - расстояние от оси вентиляционного потока в глубь горного массива; R - радиус выработки; a_1 и a_2 - коэффициенты теплопроводности газозвушной смеси и горных пород.

Красные условия:

$$\begin{aligned} T_1(x, r, 0) &= T_2(x, r, 0) = T_0; \\ T_1(\infty, r, 0) &= T_2(\infty, r, \tau) = T_0, \quad 0 < \tau \leq \tau_r; \\ T_1(x, R_0, \tau) &= T_2(x, R_0, \tau) = T_r, \quad x_0 \leq x \leq x_1; \end{aligned}$$

$$\left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=R_0} = \frac{\alpha}{\lambda_2} \left(T_2 \right|_{r=R_0} - T_1 \right) \begin{cases} 0 < \tau \leq \tau_r, & x > x_1, \\ \tau > \tau_r, & x \geq x_0. \end{cases}$$

В качестве начального условия температура всюду принята равной температуре окружающих пород, которая должна сохраняться и в глубине массива (одно из граничных условий). Другое граничное условие дает возможность определить температуру вентиляционного потока на входе в замкнутый контур по температуре и на выходе из него. И последнее условие является граничным условием третьего рода, характеризующим теплообмен между вентиляционным потоком и окружающими породами. Причем при горении ($\tau \leq \tau_1$) на участке выработки $x_1 \leq x \leq x_2$ принята температура, равная температуре очага пожара.

Скорость вентиляционного потока v , входящую в первое уравнение системы (11.7), определяли по формуле

$$v = T/T_0 \cdot Q/S, \quad (11.9)$$

где Q - расход газозвушной смеси в выработках участка, отнесенной к нормальным условиям; S - средняя площадь поперечного сечения выработки изолированного участка.

Расход смеси оценивался на основании зависимости

$$Q = \sqrt{(a + h_r) / (b + R_k)}, \quad (11.10)$$

а тепловая депрессия h_r - по формуле

$$h_r = \gamma_0 L \sin((1 - T_0/T_{cp})), \quad (11.11)$$

где a , b - аэродинамические характеристики вентилятора местного проветривания, организующего рециркуляцию; R_k - аэродинамическое сопротивление выработок изолированного участка; γ_0 - удельный вес газозвушной смеси при нормальных условиях; T_{cp} - средняя температура вентиляционного потока в пожарной выработке.

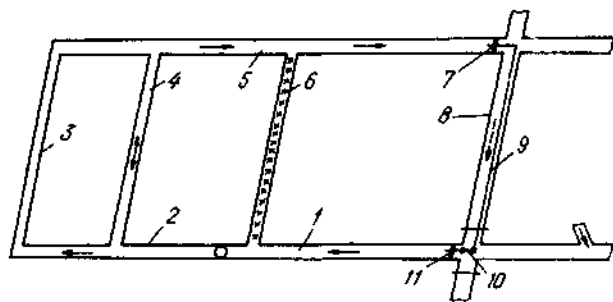


Рис. 11.2. Схема рециркуляции пожарных газов в изолированном участке:
1 - 5-й восточный конвейерный штрек; 2 - откаточный штрек; 3 - 5-я восточная лава; 4 - вспомогательный ходок; 5 - 5-й восточный вентиляционный штрек; 6 - разрез 5-й восточной лавы; 7, 11 - изолирующие перемычки; 8 - уклон; 9 - трубопровод; 10 - вентилятор

Представленная система уравнений численно решалась на ЭВМ типа ЕС и микроЭВМ по специально разработанным программам. Проверка результатов математического моделирования процессов теплопереноса в газовом потоке и окружающем горном массиве осуществлялась в шахтных условиях и на экспериментальном полигоне. Установлена удовлетворительная сходимость результатов моделирования и экспериментов.

Опытно-промышленное внедрение метода проведено на шахтах им. Скопинского ПО "Донецкуголь" и "Сокурская" ПО "Карагандауголь".

На шахте им. Скопинского (рис. 11.2) пожар возник на 48-м пикете конвейерного штрека 5-й восточной лавы, разрабатывающей пласт "Смоляниновский", в 18 ч 20 мин 16 августа 1986 г. Мощность пласта 1,7 м, угол падения 7-8°. Пласт относится к особо опасным по склонности к самовозгоранию, опасный по внезапным выбросам угля и газа. Пласт разрабатывается на глубине более 1000 м, температура пород до 45°С. Система разработки сплошная, длина лавы 200 м. Лава оборудована комплексом КМ-87. Площадь сечения конвейерного штрека возле уклона 22 м², далее 13,5 м². Площадь сечения вентиляционного штрека 11-13 м². Длина штреков 1320 м. Штреки закреплены арочной металлической крепью, затяжки - металлическая сетка, железобетонные, деревянные. В выработанном пространстве лавы пройден вентиляционный ходок с конвейерного штрека на вентиляционный длиной 220 м, площадь поперечного сечения которого 10 м². Ходок закреплен арочной металлической крепью с деревянной затяжкой. Расстояние от ходка до лавы 620 м.

Схема проветривания выемочного участка возвратноточная на выработанное пространство, направление струй в лаве - восходящее. Расход воздуха на участке до возникновения пожара 1600 м³/мин, содержание метана на исходящей 0,8-0,9% при

абсолютной газообильности до 30 м³/мин (часть метана удалялась посредством дегазации). Через 1 ч после возникновения пожара произошло обрушение кровли за пикетом 48, расход воздуха снизился до 1200 м³/мин. Активное тушение пожара стало невозможным, поэтому было принято решение возвести на конвейерном и вентиляционном штреках изолирующие взрывоустойчивые перемычки. Ввиду повышения температуры исходящей струи до 60-70°С сократили расход воздуха в 2 раза путем установки в конвейерном штреке парашютной перемычки, а затем расход воздуха был снижен до 400 м³/мин. К 8 ч 18 августа взрывоустойчивая перемычка на конвейерном штреке была возведена, а в 14 ч были закрыты проемы с целью создания приемлемых тепловых условий для возведения перемычки на вентиляционном штреке. Таким образом, активное горение продолжалось около 45 ч. В 13 ч 10 мин 20 августа 1986 г. была возведена взрывоустойчивая перемычка на вентиляционном штреке. Через два дня после изоляции содержание метана в закрытом объеме составило 97%, кислорода - менее 1%.

Для ускорения тушения пожара авторами был предложен метод рециркуляции газовой смеси. Монтажные работы по установке вентилятора ВМЦГ7, трубопровода и теплообменника были закончены во второй половине октября. Согласно произведенным расчетам, время проведения рециркуляции определялось в 30 сут при расходе газовой смеси 400 м³/мин. Фактически рециркуляция осуществлялась в течение 28 сут.

Характер изменения температуры пород при рециркуляции и без нее определен на рис. 11.3. По расчетам температура пород в районе очага пожара снизилась до 50°С, т.е. ниже критической, при которой возможен рецидив пожара, и участок можно было вскрывать. Но в составе рудничной атмосферы изолированного объема имелся оксид углерода (0,0008%) и согласно Инструкции по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров вскрывать участок было нельзя. На заседании технического совета ПО "Донецкуголь" с участием округа Госгортехнадзора было принято решение вскрыть участок с целью проверки достоверности предложенного метода. Пятого января участок был вскрыт и проверен, рецидива пожара не было, но содержание оксида углерода удерживалось на уровне десяти тысячных процента в течение 1 сут при подаче на

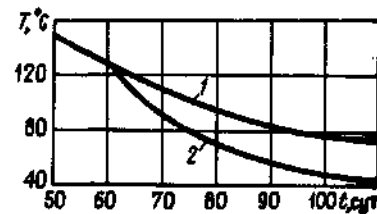


Рис. 11.3. Графики изменения температуры T в изолированном участке:
1 - без рециркуляции; 2 - с рециркуляцией

участок воздуха 800 м³/мин. Пожар был списан. В данных условиях применение рециркуляции позволило более чем на полгода сократить продолжительность изоляции аварийного участка.

На шахте "Сокурская" рециркуляция была применена в условиях тушения пожара на пласте K_{12} в лаве 58 $K-12-1-B$ (верхний слой). Применяемая система разработки - длинными столбами по падению. Схема проветривания прямоточна на выработанное пространство с подсвежением. Крезь КМ130. Пожар возник 10 февраля и был изолирован 22 февраля 1987. Рециркуляцию с 24 по 31 марта с использованием вентилятора ВМЦГ7. До создания рециркуляции и при ее осуществлении в изолированный объем подавали газообразный азот.

За время рециркуляции температура в участке снизилась с 25 до 21 °С. В пробах газов содержание оксидов углерода и водорода отсутствовало. Участок был разгазирован 3 апреля, пожар списан 7 апреля 1987 г.

Таким образом, в результате опытно-промышленного внедрения рециркуляции газовой смеси в изолированном участке подтверждена эффективность предложенного метода ускорения тушения изолированных подземных пожаров. Подтверждена также методика расчета температуры в районе очага пожара и времени вскрытия участка. Однако широкое внедрение указанного метода ограничивается действующими нормативными документами, согласно которым вскрытие участка разрешается через 2-3 мес после полного исчезновения оксида углерода. При рециркуляции оксид углерода не выносится из изолированного объема, и поэтому незначительное его содержание в атмосфере изолированного объема не является признаком горения. Основным критерием ликвидации пожара и исключения его рецидива следует считать температуру, определяемую расчетным путем по предложенной нам методике.

С учетом того, что ежегодно изолируется около 100 пожаров, в результате чего народному хозяйству наносится значительный материальный ущерб, предлагается изоляцию пожаров считать как первый этап их ликвидации, а в последующем осуществлять метод рециркуляции газовой смеси с целью полного прекращения горения и охлаждения пород в изолированных участках.

11.2. Безопасная отработка лав при наличии очага пожара в выработанном пространстве

Практика работы шахт и ведения горноспасательных работ показывает, что в некоторых случаях можно избежать изоляции участка, а пожар потушить методом локализации его в выработанном пространстве обрушающимися породами кровли при отходе лав и выполнении дополнительных мер по обеспечению безопасности.

При возникновении пожара в выработанном пространстве действующих лав сначала принимаются меры по активному тушению. К отходу лав следует прибегать только в том случае, когда активный способ тушения, исчерпав себя, не дал положительных результатов, а изоляция аварийного участка приведет к длительной консервации запасов угля и угледобывающих комплексов.

Тушение пожара методом отхода лавы заключается в естественной изоляции зоны горения за счет обрушения пород кровли и сокращения расхода поступающего в нее воздуха (утечек). Эффективность отхода лавы от очага пожара в выработанном пространстве зависит от горно-геологических и горнотехнических условий и, в первую очередь, от шага обрушения кровли и скорости подвигания очистного забоя. Зная шаг посадки кровли и задавая скорость отхода лавы, можно установить время обрушения пород в зоне пожара (примерные координаты очага пожара почти всегда известны).

С целью ускорения тушения пожара и обеспечения безопасности (предупреждения взрыва метановоздушной смеси) должны применяться в зависимости от конкретных условий различные способы инертизации, флегматизации и ингибирования среды в районе очага пожара (подаче азота, углекислого газа, инертной пены, пожаротушающего порошка и др.).

Необходимое условие отхода лавы - отсутствие оксида углерода в лаве и вентиляционном штреке и предельно допустимое содержание других вредных газов, оговоренных ПБ. Это достигается управлением газовым режимом аварийного участка: направлением продуктов горения через выработанное пространство в общеисходящие струи, отводом их по скважинам или дегазационному трубопроводу на поверхность, использованием газоотсасывающих установок.

До полного завершения работ по ликвидации пожара необходимо контролировать газовую обстановку аварийного участка.

Определение утечек воздуха через выработанное пространство. Выработанное пространство по аэродинамическим характеристикам подразделяется на три зоны:

свежеобрушенные и недостаточно уплотненные породы - протяженность до 50-70 м от лавы, характеризуется максимальными утечками воздуха;

породы, уплотненные под действием собственного веса и давления оседающей или обрушающейся кровли, - протяженность до 500-700 м, характеризуется сравнительно небольшими утечками;

сдавленные породы - протяженность более 700 м, характеризуется очень малым объемом пустот и практически отсутствием утечек.

Можно считать, что позади лавы на расстоянии 0,6 ее длины и более обрушенные породы кровли пласта достаточно уплотнены и утечки в этом случае минимальны.

Суммарные утечки воздуха через выработанное пространство (в основном в первой зоне) при столбовой системе разработки определяются по формуле

$$Q_{\text{гт}} = Q(k - 2,88)/(k + 0,12), \quad (11.12)$$

где Q - расход воздуха на выемочном участке, $\text{м}^3/\text{мин}$; k - средневзвешенная крепость обрушающихся пород кровли.

Суммарные утечки могут быть определены также по данным о коэффициенте утечек воздуха через выработанное пространство $k_{\text{гт}}$, взятом из вентиляционного журнала шахты или отчета о депрессионной съемке (где имеются сведения о каждой лаве):

$$Q_{\text{гт}} = (1 - 1/k_{\text{гт}})Q. \quad (11.13)$$

Величину утечек и их распределение можно рассчитать на ЭВМ по программе, разработанной во ВНИИГД.

Данные о горнотехнической и аэродинамической характеристике выработанного пространства являются основополагающими для принятия решения об отходе лав от очага пожара.

Обеспечение безопасности отработки лав при наличии очага пожара в выработанном пространстве. Общие принципы регулирования утечек воздуха сводятся к следующему. Если содержание метана в выработанном пространстве превышает верхний предел взрываемости

$$c = 100/Q_{\text{гт}} > 15, \quad (11.14)$$

то следует уменьшать утечки воздуха.

Если же содержание метана в выработанном пространстве меньше нижнего предела взрываемости

$$c = 100I_b/Q_{\text{гт}} < 5, \quad (11.15)$$

то следует увеличить утечки воздуха.

Регулирование утечек можно производить увеличением или уменьшением подачи воздуха на выемочный участок или изменением аэродинамического сопротивления выработанного пространства.

Управление газовой обстановкой аварийного участка осуществлением вентиляционных маневров и изменением вентиляционного давления следует выполнять в соответствии с Руководством по выбору эффективных режимов проветривания шахт при авариях (Донецк, 1986) и Рекомендациями по выбору способов управления вентиляцией при тушении горящего метана (Донецк, 1980).

Предупреждение возможных взрывов газозудушной смеси при пожаре в выработанном пространстве может осуществляться путем флегматизации среды негорючими газами и парами. Для этого могут применяться газообразный азот, диоксид углерода, водяные пары, инертные газы. Флегматизирующая активность приведенных веществ неодинакова и снижается с уменьшением их теплоемкости.

Смесь горючего газа, кислорода и флегматизирующего компонента прекращает взрываться при содержании кислорода, равном определенной критической величине. Для указанных флегматизаторов критическое значение может быть определено по формуле

$$k_{\text{кр}} = 0,197c_v + 7,3, \quad (11.16)$$

где c_v - теплоемкость флегматизатора, $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ для CO_2 - 45,2; H_2O - 36,8; N_2 - 29,5; He - 25,9; Ar - 20,8).

Расход флегматизатора q , $\text{м}^3/\text{мин}$, обеспечивающий взрывоопасность среды в выработанном пространстве, определяется по уравнению

$$q = cQ_{\text{гт}}/(k_{\text{кр}} + c), \quad (11.17)$$

где c - содержание метана в утечках на выходе из выработанного пространства, %.

Флегматизирующие добавки в выработанное пространство должны подаваться по скважинам, пробуренным в предполагаемую зону пожара, или вместе с утечками воздуха по путям их движения для доставки флегматизатора в зону горения. В первом случае трубопровод, по которому подается флегматизатор, подключается к скважине, а во втором - через бутовую полосу вводится в выработанное пространство.

Выбор оборудования, способы подачи и порядок работы при запуске флегматизаторов осуществляются в соответствии с Руководством по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах, опасных по газу и пыли (Донецк, 1986).

Торможение реакции горения химически активными реагентами называется *ингибированием*, а сами реагенты - ингибиторами. Ингибиторы взаимодействуют с промежуточными продуктами реакции или ее активными центрами.

В качестве ингибиторов взрыва метановоздушной смеси можно использовать серийно выпускаемые и широко применяемые в практике горноспасательного дела пламевзрывогасящие порошки П-2АП, ПВК-1 и др. Порошкообразные ингибирующие вещества подаются установками "Вихрь" в поток утечек через выработанное пространство по специальным пройденным в бутовой полосе печам. Порошок подается в выработанное пространство из расчета 70 - 150 $\text{г}/\text{м}^3$ до момента выноса его в выработки с исходящей струей. Кроме того, ингибирующим порошком обрабатывается доступная часть выработанного пространства со стороны воздухоотводящей выработки. Повторная обработка выработанного пространства осуществляется через каждые сутки или при резком ухудшении газовой обстановки. С целью ускорения тушения пожара и предупреждения взрыва горючих газов в определенных условиях рекомендуется подавать в зону горения инертную пену в соответствии с требованиями разработанных в ВНИИГД нормативных документов.

Контроль газовой обстановки аварийного участка. При горении метана в составе рудничной атмосферы наряду с несгоревшим метаном появляются оксид и диоксид углерода, содержание которых обусловлено неполным сгоранием газа из-за недостатка кислорода. Горение угля и древесины характеризуется повышенным содержанием оксида и диоксида углерода и появлением водорода, а на негзовых шахтах и метана.

В случае горения в выработанном пространстве угля или древесины в составе продуктов горения содержание CO_2 может увеличиться до 10-15%, CO до 3-4%, а H_2 до 4-6%. Горение метана характеризуется более низкими значениями CO_2 (до 2-3%) и CO (до 0,8-1,5%), водород в этом случае отсутствует.

В этих условиях контроль газовоздушной обстановки аварийного участка - важнейшее мероприятие, обеспечивающее безопасность отработки лав при наличии пожара в выработанном пространстве. В связи с тем, что отход лав допускается при столбовой системе разработки с возвратноточным и прямоточным проветриванием, опасными по скоплению метана и пожарных газов являются верхняя часть призабойного пространства и сопряжение лавы с вентиляционным штреком. В процессе отхода лавы от очага пожара осуществляется текущий и периодический контроль состава рудничной атмосферы. Текущий контроль предусматривает определение содержания метана и оксида углерода в исходящей струе очистного забоя переносными приборами. Для этой цели используются шахтные интерферометры ШИ-10, ШИ-11 и индикаторы типа ГХ-СО.

Периодический контроль осуществляется путем отбора проб рудничного воздуха в емкости с последующим анализом их на лабораторных газоаналитических установках. При этом в отобранных пробах определяется содержание углерода, кислорода, метана, оксида углерода и водорода.

Периодичность замеров и отбора проб определяется в каждом случае, но не реже одного раза в 1 ч при текущем контроле и двух раз в смену - при периодическом. Так же, не реже двух раз в смену, измеряют расход воздуха и его температуру в поступающей и исходящей струях.

Контролируется состав рудничного воздуха, измеряется его расход и температура каждый раз после измерения режима проветривания аварийного участка.

Места отбора проб и проведения замеров определяют на основании анализа схем проветривания участка и сложившейся газовоздушной обстановки. При этом в призабойном пространстве замеры производят в трех-четыре точки, начиная со середины лавы, а также у сопряжения лавы и в 10-20 м от него по ходу вентиляционной струи. Если погашение вентиляционного штрека отстает от подвигания лавы, то замеры и отбор проб производят и в тупике погашения.

Наиболее полную информацию о газовой обстановке аварийного участка можно получить при отборе проб из пред-

полагаемой зоны горения в выработанном пространстве. Для этой цели в процессе подготовки лавы к отходу со стороны очистного забоя закладывают газоотборные трубки, которые затем при подвигании забоя наращивают. Достоверные данные будут получены при отборе проб из специально пробуренных в зону очага пожара скважин. Для контроля состава рудничного воздуха в выработанном пространстве используют дегазационные составы, трубопроводы отсасывающих установок, а также скважины или трубопроводы, применяемые для технологических целей.

Практика работы выемочных участков при пожаре в выработанном пространстве. На шахте им. Ильича ПО "Стахановуголь" в месте сближения полевого штрека с транспортным восточной лавы пл. № возник пожар, который распространился в нижнюю часть лавы. Мощность пласта 1,3-1,5 м; угол падения пласта 28-36°. Выемка угля - отбойными молотками.

На первом этапе ликвидации аварии тушили пожар активным способом. В результате этого в нижней трети лавы содержание CO достигло санитарных норм, содержание метана на исходящей струе было не более 0,75%. Для нормализации состава рудничной атмосферы по всей лаве (по оксиду углерода) было признано целесообразным выполнить работы по выемке угля в нижней ее части (по высоте до 139 м, а простиранию до 16 м). По мере подвигания нижней части лавы ежедневно возводилась гипсовая "рубашка" над полевым штреком. Соблюдались меры безопасности, проводился анализ состояния газового режима.

Через неделю содержание оксида углерода по всей длине лавы достигло санитарной нормы, однако на исходящей струе оно составило 0,009%, что свидетельствовало о сохранении очага горения в нижней части выработанного пространства. Было принято решение продолжить подвигание очистного забоя по всей длине и производить посадку кровли после каждого цикла. При этом обеспечивалось максимально возможное подвигание лавы - не менее 20-25 м/мес. По мере подвигания лавы осуществлялось бурение скважины со стороны полевого штрека и нагнетание в них пеногипса. За составом атмосферы на аварийном участке велся постоянный контроль, были намечены меры на случай ухудшения обстановки. Лесоматериалы для лавы по вентиляционному горизонту доставляли члены ШГС. Через 2 мес лавы отошла от очага пожара на 50 м, оксид углерода в исходящей струе аварийного участка не обнаруживался, что свидетельствовало о ликвидации очага горения.

Пожар на шахте "Пролетарская" ПО "Стахановуголь" возник в выработанном пространстве 1-й северной лавы пл. № 4 гор. 380 м. В лаву поступало 225 м³/мин воздуха. Утечки через выработанное пространство составляли 20-25 м³/мин. В погашаемой части вентиляционного штрека, за лавой, была введена перемычка. По данным лабораторного анализа состав

рудничной атмосферы за перемышкой характеризовался следующими данными: CO_2 - 10,2%, O_2 - 7,8%, CH_4 - 0,8%, CO - 0,7%, а на вентиляционном штреке в 10 м от лавы CO_2 - 1,8%, C_2 - 18,9%, CH_4 - 0,15%, CO - 0,1%. Из анализа состава атмосферы в выработанном пространстве видно, что имело место интенсивное горение угля. Активные действия по тушению пожаров исключались ввиду невозможности доступа к месту горения. Учитывая сложившуюся обстановку, было принято решение без изменения режима проветривания организовать отсос продуктов горения из-за перемышки по трубопроводу с помощью эжектора с последующим разжижением смеси газов вне зоны ведения горных работ (в исходящей на скиповой ствол). После выполнения этих мер содержание оксида углерода за перемышкой снизилось до 0,02%, а на вентиляционном штреке - до санитарно-допустимой нормы, что позволило принять решение об отходе лавы от очага пожара с максимально возможной скоростью - 30 м/мес.

Таким образом, успешное тушение пожара в выработанном пространстве было достигнуто в результате организованного отвода продуктов горения по трубопроводу при одновременном подвигании лавы.

При тушении пожара в выработанном пространстве 10-й северной лавы шахты "Краснокутская" По "Донбассантрацит" за счет уплотнения чураковых перемычек были снижены утечки до 100 м³/мин, что привело к осложнению аварии. В течение 23 ч в выработанном пространстве было зарегистрировано 17 взрывов газовой смеси различной интенсивности. С целью предотвращения этих взрывов утечки воздуха через выработанное пространство были увеличены до 384 м³/мин, для чего была разобрана чураковая перемышка в разрезной печи, вскрыты вентиляционные печи на 10-м бортовом конвейерном уклоне. В результате этого вентиляционного маневра взрывы прекратились, а газовоздушная обстановка на участке стабилизировалась.

Успешное тушение пожара в выработанном пространстве путем отхода 10-й северной лавы оказалось возможным при условии выбора эффективного режима проветривания выработанного пространства. Чтобы содержание оксида углерода на 10-м северном бортовом конвейерном уклоне не превышало допустимых норм, расход воздуха по нему должен быть увеличен.

В зависимости от горнотехнических условий успешно может применяться комбинированный способ проветривания очистного забоя, когда на участке лавы с очагом пожара обеспечивается меньший расход воздуха, а выше за очагом пожара - больший. При этом проветривание участка лавы с пожаром меньшим расходом воздуха обеспечивает меньший вынос оксида углерода, который затем разбавляется до санитарно-гигиенических норм на участке лавы с повышенным расходом воздуха.

Для отвода метановоздушной смеси и пожарных газов из

выработанного пространства лавы при наличии в нем очага пожара успешно может применяться дегазация. В процессе ликвидации пожара в выработанном пространстве 24-й северной лавы пласта l_6 шахты № 21 ш/у "Краснокутское" ПО "Донбассантрацит" наряду с применением воды, пены и порошковых средств пожаротушения было организовано бурение скважин с поверхности и с 24-го бортового уклона. При достижении скважиной № 1, буримой с поверхности, отметки 122 м из нее началось интенсивное истечение газовой смеси с дебитом 50,1 м³/мин и содержанием метана до 93%. Истечение газа в постоянным снижением CH_4 продолжалось в течение трех дней.

С 24-го северного бортового уклона в сторону выработанного пространства 24-й северной лавы бурили скважины. При достижении скважиной № 1 глубины 63 м из нее начала выделяться газоздушная смесь с незначительной интенсивностью и содержанием CH_4 65%. После того как скважина была пробурена на длину 127 м и подключена к дегазационной установке, дебит смеси из скважины составил 22,9 м³/мин, а содержание метана - 47%. За 8 ч работы из выработанного пространства было извлечено около 5150 м³ метана, после чего прекратилось видимое горение газа из трещины на 25-м северном бортовом уклоне у сопряжения с лавой. В выработанном пространстве прекратились хлопки. Газовая обстановка аварийного участка значительно улучшилась. На исходящей струе аварийного участка оксид углерода не обнаруживался и только улавливался в исходящей струе от печи, проведенной на 50 м выше 25-й северной лавы, а содержание его составляло 0,000116 - 0,00294%. Содержание метана в действующих выработках аварийного участка не превышало 0,45%. Эти данные свидетельствовали о том, что пожар стал менее интенсивным, однако окончательно ликвидирован не был. В этих условиях дальнейшие работы по ликвидации пожара целесообразно было проводить в сочетании с подвиганием очистного забоя 24-й северной лавы, что и было осуществлено. После отхода лавы на 20 м от места возникновения пожара и посадки основной кровли пожар был локализован и описан.

В результате применения метода отхода лав при тушении пожаров на рассмотренных выше шахтах сокращение материального ущерба составило около 2,6 млн руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах.* - М.: Недра, 1986.
2. *Рудничная вентиляция/* Под ред. К.З. Ушакова. - М.: Недра, 1988.
3. *Руководство по выбору эффективных режимов проветривания шахт при авариях.* - Донецк: ВНИИГД, 1986.
4. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт.* - М.: Недра, 1988.
5. *Руководство по расчету шахтных вентиляционных сетей на ЭВМ.* - Донецк: ВНИИГД, 1985.
6. *Устав ВГСЧ по организации и ведению горноспасательных работ.* - М.: Недра, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Особенности проветривания шахт в аварийных условиях	4
1.1. Общая характеристика основных видов аварий и аварийных вентиляционных режимов	4
1.2. Факторы, приводящие к нарушению режима проветривания выработок в аварийных условиях	7
2. Устойчивость проветривания выработок при пожарах	11
2.1. Влияние пожара на проветривание наклонных выработок	11
2.2. Методы определения тепловой депрессии пожара	16
2.3. Расчет критической депрессии для наклонных выработок с нисходящим движением воздуха	23
2.4. Мероприятия по повышению устойчивости проветривания наклонных выработок с нисходящим движением воздуха	26
2.5. Расчет устойчивости проветривания при пожарах в наклонных выработках с восходящим движением воздуха	30
3. Общешахтное реверсирование вентиляционных струй	33
3.1. Основные факторы, влияющие на проветривание шахты при реверсировании вентиляционных струй	33
3.2. Применение реверсивного режима проветривания в планах ликвидации аварий	43
3.3. Определение устойчивости вентиляционных струй в реверсивном режиме проветривания	45
3.4. Расчет газодинамических параметров горных выработок в реверсивном режиме проветривания	49
4. Местные режимы проветривания	54
4.1. Местное реверсирование	54
4.2. Анализ влияния тепловой депрессии на местное реверсирование вентиляционных струй	62
4.3. Примеры применения местного реверсирования при подземных пожарах	66
4.4. Закорачивание вентиляционной струи	70
4.5. Влияние закорачивания на устойчивость проветривания уклонных полей	76
5. Остановка вентилятора главного проветривания	78
5.1. Особенности формирования естественной тяги в шахте	79
5.2. Влияние естественной тяги на проветривание шахты	84
5.3. Рекомендации по применению остановки вентиляторов главного проветривания на шахтах	91
6. Средства оперативного управления проветриванием	93
6.1. Общая характеристика средств оперативного управления проветриванием	93
6.2. Результаты шахтных испытаний парашютной перемычки	97
6.3. Использование парашютных перемычек при ликвидации подземных аварий	103
7. Депрессионная съемка	107
7.1. Общие положения. Особенности замеров депрессии в шахтах	107
7.2. Приборы для проведения депрессионной съемки	109
7.3. Выбор метода проведения депрессионной съемки	112
7.4. Проведение депрессионной съемки с помощью микроманометра и шланга	117

7.5. Проведение депрессионной съемки с помощью микробарометров . . .	121
7.6. Обследование вентиляторных установок	124
8. Специальные методы измерения утечек воздуха через изолированные участки	128
8.1. Общие положения	128
8.2. Методы измерения утечек воздуха через перемычки	128
8.3. Методы измерения утечек воздуха через изолированный участок . . .	132
8.4. Снижение утечек воздуха через изолированные пожарные участки. .	139
8.5. Компенсационный метод снижения утечек воздуха	143
9. Расчет воздухораспределения в аварийных условиях	146
9.1. Общие положения	146
9.2. Метод напорных характеристик	148
9.3. Метод затухания возмущений воздухораспределения	151
9.4. Особенности расчетов аварийных вентиляционных режимов на ЭВМ. .	157
9.5. Выполнение расчетов с помощью простейших вычислительных средств	159
10. Газодинамика горных выработок в аварийных условиях	164
10.1. Общие положения	164
10.2. Рекомендации по уменьшению содержания метана на аварийном участке путем увеличения вентиляционного давления	171
10.3. Методика расчета содержания метана на аварийном участке при увеличении вентиляционного давления	175
10.4. Снижение содержания метана в аварийных условиях (опыт применения предлагаемого способа)	180
10.5. Методика определения допустимого изменения расхода воздуха на аварийном участке	185
10.6. Расчет времени загазирования аварийного участка метаном после сокращения расхода воздуха	188
11. Специальные методы борьбы с подземными пожарами	189
11.1. Метод ускорения вскрытия изолированных пожарных участков . . .	189
11.2. Безопасная отработка лав при наличии очага пожара в выработанном пространстве	196
Список литературы	204

Б 79 Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А.
Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. - М.: Недра, 1992. - 206 с.: ил.
 ISBN 5-247-01878-8

Рассмотрены особенности проветривания шахт при авариях. Приведены характеристики аварийных вентиляционных режимов, методики расчета тепловой депрессии, устойчивости проветривания, газодинамики горных выработок в аварийных условиях. Описаны средства оперативного управления проветриванием, даны аэродинамические характеристики парашютных перемычек, вентиляционных и пожарных дверей. Изложены методы измерения утечек воздуха при изоляции горных выработок, а также экспресс-методы расчета отдельных аварийных режимов.

Для инженерно-технических работников шахт и личного состава ВГСЧ.

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

Болбат Иван Ефимович
Лебедев Валентин Игнатьевич
Трофимов Виталий Александрович

**АВАРИЙНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ
В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

Заведующий редакцией *Е.И. Кит*
Редактор издательства *М.М. Титова*
Обложка художника *В.А. Смирнова*
Художественный редактор *О.Н. Зайцева*
Технический редактор *С.В. Павлова*
Корректор *С.И. Гринева*
Операторы *С.Е. Григорьева, О.В. Сорина*
ИБ № 8568

Подписано в печать с репродуцированного оригинал-макета 27.12.91.
Формат 60×88 $\frac{1}{8}$. Бумага офсетная № 2. Гарнитура Пресс-роман.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 12,74. Усл.кр.-отт. 12,98. Уч.-изд.л. 13,86.
Тираж 1100 экз. Зак № 1827 /2560-1.
Набор выполнен на компьютерной технике.

Издательство "Недра".
125047 Москва, Тверская застава, 3.

Московская типография № 9 НПО "Всесоюзная книжная палата"
Министерство печати и информации Российской Федерации.
109033 Москва, Волочаевская ул., 40