

УДК 622.812

Г. Б. ТЫНДА, зав. отд., МакНИИ, г. Макеевка

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ СРЕДЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЙСТВИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОБЩЕШАХТНОМ РЕВЕРСИРОВАНИИ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СТРУИ

Рассмотрены процессы газового обмена между горными выработками и выработанным пространством при осуществлении общешахтного реверсирования вентиляционной струи и проанализированы факторы, влияющие на формирование взрывоопасной метановоздушной среды в действующих горных выработках.

Ключевые слова: проветриваемые выработки, изолированные выработки, выработанное пространство, вентиляционная струя, общешахтное реверсирование, газообмен, переходные процессы, вентиляционное давление, депрессиограмма.

Общешахтное реверсирование вентиляционной струи является наиболее эффективным средством спасения подземных горнорабочих в случае возникновения пожара в главных воздухоподающих выработках. В последние годы все чаще данный аварийный вентиляционный режим предусматривается и для других ситуаций, наметилась тенденция к расширению зоны реверсирования за счет включения в нее даже выработок выемочных участков.

Однако для повсеместного использования этого способа спасения существуют серьезные препятствия. Одной из главных проблем общешахтного реверсирования на метанообильных угольных предприятиях является сохранение газовой безопасности. В горной практике известно немало аварий, когда этот вентиляционный маневр вместо улучшения ситуации приводил к ее усугублению.

Общешахтное реверсирование в условиях современной шахты является сложным, многогранным процессом, сопровождающимся целым рядом явлений, на который влияет множество факторов. Инерционность вентиляционной струи, удаленность отдельных объектов от основных воздухоподающих выработок, противодействие депрессии естественной тяги, неработоспособность вентиляционных сооружений (реверсивных дверей), повторное использование отработанной вентиляционной струи – любой из вышеприведенных факторов может стать причиной нарушения проветри-

вания и накопления метана в горных выработках.

В рамках данной статьи рассматривается еще одно явление, происходящее при общешахтном реверсировании, – так называемые переходные процессы. Под переходным будем подразумевать процесс уравнивания вентиляционного давления в активно проветриваемых горных выработках и давления в выработках слабо проветриваемых или непроветриваемых вовсе (в частности, в изолированных участках и выработанном пространстве). В ряде случаев образование взрывоопасной среды вследствие внезапного выделения значительного количества метана из непроветриваемых объемов под влиянием переходных процессов стало причиной серьезных аварий. Некоторые из них произошли при выполнении практической проверки аварийных вентиляционных режимов. Согласно [1] подобная проверка должна осуществляться два раза в год на всех угольных шахтах, где этот аварийный режим предусмотрен планом ликвидации аварии.

За годы существования отечественной угольной промышленности «проверочное» и аварийное реверсирования вентиляционной струи с помощью вентиляторов главного проветривания (ВГП) осуществлялись тысячи раз. Но, несмотря на многократное практическое «тиражирование» подобных маневров, установить закономерности выделения метана из выработанного пространства в действующие горные выработки вследствие возникновения переходных процессов до сих пор не удалось.

Очевидно, что выделение метана в горные выработки при переходных процессах с интенсивностью, способной привести к их загазированию, – явление довольно редкое и требует соблюдения целого ряда условий. Выяснение того, какие именно условия должны соблюдаться – цель настоящей статьи.

При дальнейшем обсуждении мы будем рассматривать не отдельно взятый маневр (например, переход от нормального к реверсивному режиму проветривания), а целый ряд событий, происходящих при реверсировании. Полный цикл событий состоит из двух последовательно выполняемых вентиляционных маневров: перевода ВГП из нормального (исходного) режима в реверсивный режим, возвращения ВГП к нормальному режиму, промежутка времени проветривания шахты в реверсивном режиме и периода времени после восстановления нормального режима.

Современные представления о переходных процессах при общешахтном реверсировании сводятся к следующему [2]. Все пустоты, образовавшиеся в процессе жизнедеятельности шахты, заполненные газом с давлением, близким к атмосферному, условно делятся на проветриваемые выработки и выработанное пространство. В нормальном режиме проветривания под действием ВГП (работающего на всасывание) пустоты находятся под постоянным разрежением. При этом между проветриваемыми выра-

ботками и выработанным пространством установилось равновесие. Это значит, что давление воздуха (газов) в каждой точке подземного пространства достаточно стабильно и соответствует месту нахождения этой точки в шахтной сети. Масса газов в шахтных пустотах также постоянна и меняется во времени незначительно. Обмен газов между упомянутыми объемами осуществляется, преимущественно, за счет утечек воздуха и путем диффузии. Изменения в системе «проветриваемые выработки – выработанное пространство», вызванные внешними факторами (изменением параметров вентиляционной сети, атмосферного давления, температуры), незначительны.

В случае перевода ВГП в реверсивный режим давление воздуха в проветриваемых горных выработках в течение короткого промежутка времени (нескольких минут) перераспределится в соответствии с новой величиной и знаком депрессии. Поскольку теперь вместо всасывания происходит нагнетание воздуха в шахту, новое значение вентиляционного давления в проветриваемых выработках оказывается выше давления газов, находящихся в выработанном пространстве. Под действием возникшей разницы давлений воздух начинает проникать из проветриваемых выработок в изолированные объемы и выработанное пространство. Этот процесс (назовем его «первый переходный период») будет продолжаться до тех пор, пока между горными выработками и выработанным пространством опять не установится равновесие. Ранее получено, что изменение интенсивности уравновешивающего потока воздуха описывается экспоненциальной зависимостью [3]. Вследствие низкой проницаемости изолирующих перемычек и обрушенных пород выработанного пространства, их удаленности от проветриваемых выработок на установление равновесия понадобится несколько часов. В конечном итоге благодаря повышению давления воздуха в шахте общая масса газов, заполняющих шахтные пустоты (горные выработки, полости в обрушенных породах), также повысится.

Поскольку в течение первого переходного периода направление миграции газов из действующих выработок в выработанное пространство, выделение метана из обрушенных пород (особенно в начальный момент) существенно снижается. Затем, по мере уменьшения интенсивности уравновешивающего потока, метановыделение будет нарастать до своего исходного значения с поправкой на снижение метановыделения из источников вследствие прекращения выемки угля.

После восстановления нормального режима проветривания шахты в действующих выработках начинается обратный процесс: снова создается разрежение, вследствие которого возникает второй переходный процесс. Теперь уже содержимое выработанного пространства под действием появившейся разницы давлений начинает поступать в горные выработки, и

этот процесс продолжается до установления нового равновесия. Таким образом, повышенное выделение метана из выработанного пространства происходит в течение второго переходного процесса. При этом из выработанного пространства, в принципе, может извлекаться газовая среда с какой угодно высокой концентрацией метана.

Очевидно, что последствия повышенного выделения метана в течение второго переходного процесса будут тем опасней, чем больше значение:

- общего объема газов, выделяющихся из выработанного пространства в проветриваемые выработки;
- интенсивности уравнивающего потока;
- концентрации метана в уравнивающем потоке.

Для того, чтобы разобраться, от чего зависит величина уравнивающего объема газов, проиллюстрируем механизм действия переходного процесса при помощи следующей графической модели (см. рисунок). Представим какой-либо маршрут шахтной вентиляционной сети в виде отрезка прямой, соединяющей устье воздухоподающей выработки (точка А) с местом установки ВГП (точка Я). Выработки, последовательно соединенные друг с другом, на данной модели будут выглядеть в виде цепочки прямолинейных отрезков. Выработки, параллельно соединенные с выработками выбранного маршрута, при таком представлении видны не будут. Отметим на нашем маршруте отрезок горной выработки, контактирующий с выработанным пространством (точки К и Л).

Для упрощения рассуждений пренебрежем изменением статического давления вентиляционной струи вследствие изменения глубины. Примем также, что температура газов во всех точках шахтной сети, включая выработанное пространство, одинакова. Кроме того, удельное аэродинамическое сопротивление (сопротивление единицы длины выработки) одинаково для всех отрезков, составляющих маршрут.

Изобразим теперь под схемой шахты кривую давления воздуха в горных выработках, составляющих маршрут. Для этого, нанесем линии, соответствующие давлению, равному нулю (линия 0-0¹) и атмосферному давлению (линия 1-1¹). Нам известно, что в устье воздухоподающей выработки давление равно атмосферному (точка 1). Поскольку проветривание всасывающее, перед вентилятором давление будет равно атмосферному за вычетом депрессии вентилятора (точка 2). Очевидно, что давление воздуха в любой точке шахтной сети при всасывающем проветривании (нормальном режиме) находится в диапазоне между $P_{атм}$ и $(P_{атм} - h_{вент})$.

Поскольку мы приняли, что удельное аэродинамическое сопротивление всех отрезков, составляющих маршрут, одинаково, изменение давления от точки 1 до точки 2 будет происходить по линейному закону. Это дает нам право соединить точки 1 и 2 прямой линией и считать, что точки на

этой прямой указывают на давление воздуха в соответствующих точках вентиляционной сети. По сути, нами построена упрощенная депрессиограмма по одному из направлений шахтной вентиляционной сети. Нанесем на полученную депрессиограмму точки, соответствующие давлению на границах выработанного пространства (точки O_1 и O_2).

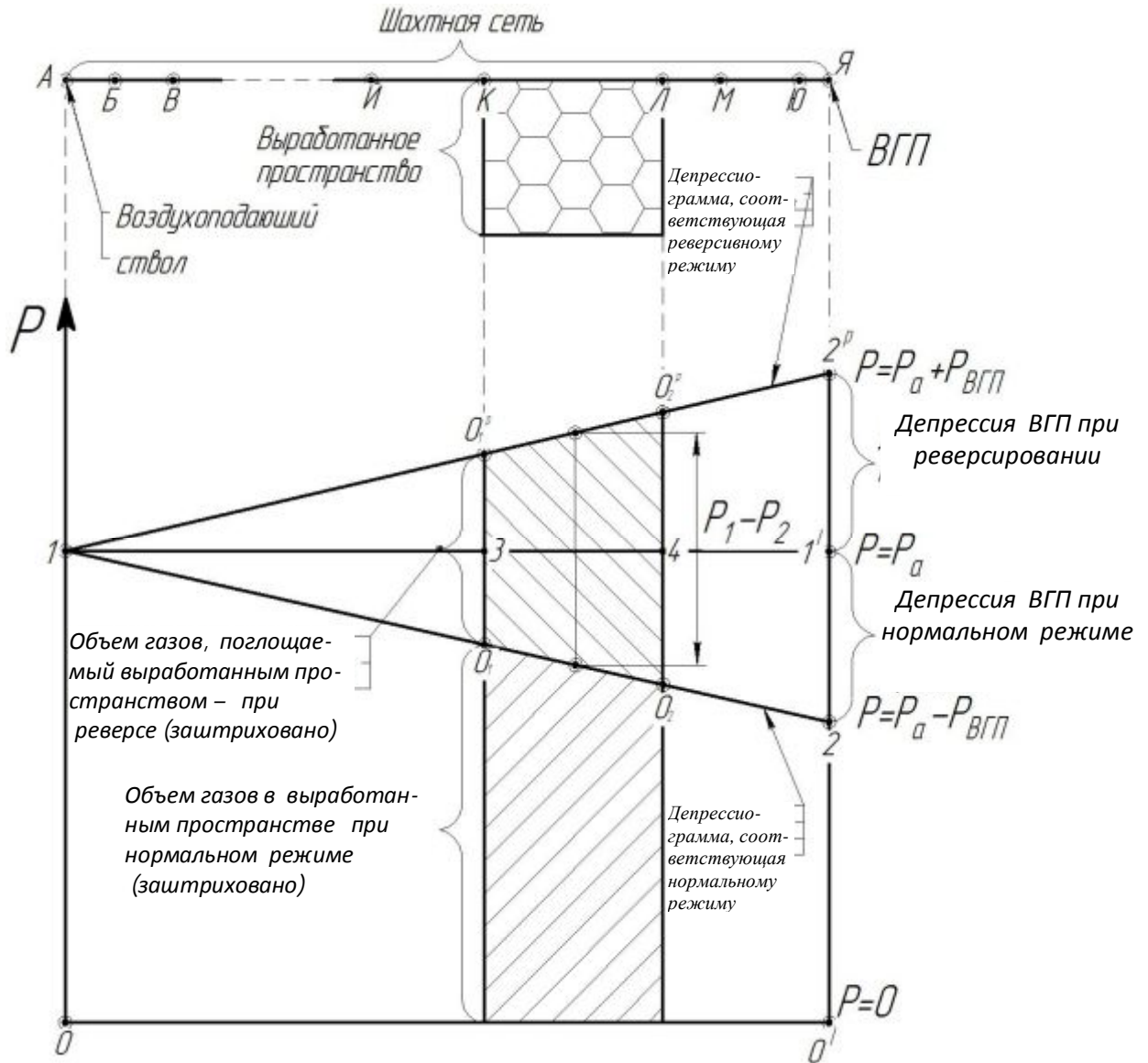


Рисунок – Иллюстрация механизма выделения газов из выработанного пространства в результате действия переходных процессов при общешахтном реверсировании вентиляционной струи

После этого отобразим на модели реверсивный режим. В случае реверсирования вентиляционной струи проветривание становится нагнета-

тельным, соответственно линия, описывающая вентиляционное давление вдоль маршрута, займет новое положение ($1 - 2^p$). Точки, соответствующие давлению на границах выработанного пространства, окажутся в положении $O_1^p - O_2^p$. Теперь становится очевидным, что уравнивающий объем газов равен:

$$\Delta V = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot V_{ВП}, \quad (1)$$

где $V_{ВП}$ – объем пустот выработанного пространства, м³;

P_1 – среднеобъемное значение вентиляционного давления в выработанном пространстве при реверсивном режиме, даПа;

P_2 – среднеобъемное значение вентиляционного давления в выработанном пространстве при нормальном режиме, даПа.

Этот же самый объем можно представить следующим образом:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \Delta H \cdot l}{(P_a - \Delta H) \cdot L} \cdot V_{ВП}, \quad (2)$$

где ΔH – депрессия ВГП, даПа;

l – удаление выработанного пространства от воздухоподающей выработки по выбранному маршруту, м;

L – общая протяженность шахтной вентиляционной сети по выбранному маршруту, м;

P_a – атмосферное давление на глубине горных выработок, даПа.

Данное представление не претендует на высокую точность, поскольку сделано на основе достаточно грубых допущений, не учитывает реальной сложности шахтных вентиляционных сетей, взаимного влияния нескольких ВГП и т.д. Однако оно позволяет сделать очень важный вывод: величина уравнивающего объема газов зависит от места расположения выработанного пространства относительно главных воздухоподающих и вентиляционных выработок. При этом, чем ближе выработанное пространство к месту установки вентилятора, тем большим окажется уравнивающий объем газов.

Как было указано выше, нас должно интересовать не только значение уравнивающего объема газов, но и интенсивность газового потока, концентрация метана в нем. Очевидно, что для формирования интенсивного метановыделения из выработанного пространства в действующие выработки требуется развитая инфраструктура каналов движения газовой среды, контактирующая с полостями – коллекторами метана.

Анализ показывает, что наиболее благоприятными, с точки зрения на-

копления метана в выработанном пространстве и последующего интенсивного обмена выработанного пространства с действующими выработками, являются изолированные шахтные поля, отработавшиеся по сплошной системе разработки. Для них характерны следующие условия:

- самые «свежие» источники метановыделения расположены вдалеке от мест установки изолирующих перемычек (действующих выработок), и это обстоятельство способствует накоплению и длительному сохранению высокой концентрации метана в обрушенных породах;

- подготовительные выработки зачастую по соображениям экономии не погашаются, и они то, как раз способны сыграть роль каналов для интенсивного выноса газовой среды за пределы отработанного участка;

- протяженность подготовительных выработок, контактирующих с выработанным пространством, может достигать нескольких километров, что создает благоприятные условия для интенсивного обогащения уравнивающего потока метаном. Для сравнения, при возвратных на массив схемах (типа 1-М-...-вт) протяженность выработок, контактирующих с выработанным пространством, ограничивается длиной очистного забоя.

По сравнению с отработанными полями действующие выемочные участки, (в том числе проветриваемые по схеме 1-В), представляются менее опасными. Во-первых, на действующих участках функционируют средства управления метановыделением (дегазация, газоотсос), во-вторых, их выработанное пространство активно продувается утечками воздуха. Коэффициент утечек зачастую превышает значение 2, то есть расход воздуха, движущегося через обрушенные породы, достигает подачи воздуха в очистной забой. При этом большая часть утечек перемещается преимущественно в верхней части выработанного пространства. Именно там, где имеются полости, и где мог бы скапливаться метан, выделяющийся из вышележащего породного массива. Только после изоляции (даже некачественной) отработанного участка эти полости начинают заполняться метаном, создавая предпосылки для его интенсивного выделения в случае возникновения переходного процесса.

Таким образом, несмотря на то, что метановыделение действующих выемочных участков в разы превосходит этот показатель для отработанных полей, общий объем накопленного метана и его концентрация в пустотах обрушенных пород у последних оказываются больше.

Необходимым условием возникновения интенсивного потока из отработанного участка является отсутствие или неудовлетворительное состояние перемычек, изолирующих отработанный участок. А наиболее благоприятная для провоцирования интенсивного выделения метана ситуация

возникает, когда изолирующая перемычка приходит в негодность накануне выполнения общешахтных вентиляционных маневров. В этом случае изначально качественной изоляцией отработанного участка обеспечивается максимальное накопление метана в нем, а затем в результате разгерметизации перемычка не в состоянии препятствовать интенсивному выносу газов за пределы изолированного участка.

Кроме вышеизложенного, должно выдерживаться еще одно условие. Имеется в виду степень завершенности первого переходного процесса. Если восстановление нормального режима произошло слишком быстро (раньше, чем завершился первый переходный процесс), уравнивающий объем газов в течение второго переходного процесса окажется соответственно меньше.

Теперь становится понятным, почему масштабное выделение метановоздушной смеси при глобальных изменениях в шахтной вентиляционной сети происходит сравнительно редко. Слишком много условий должно соблюдаться для реализации рассмотренного в статье механизма.

ВЫВОДЫ

При этом при выполнении полного цикла вентиляционных маневров угроза опасного выделения метановоздушной смеси из выработанного пространства в проветриваемые выработки возникает после восстановления нормального режима проветривания шахты.

Интенсивность выделения метановоздушной смеси из выработанного пространства в проветриваемые выработки тем выше, чем ближе выработанное пространство расположено к ВГП; чем больше объем выработанного пространства и выше концентрация метана в нем; чем больше площадь контакта выработанного пространства с проветриваемыми выработками; чем выше проницаемость обрушенных пород и ниже сопротивление каналов, по которым выработанное пространство сообщается с действующими выработками.

Максимальное выделение метана станет возможным, если продолжительность работы ВГП в реверсивном режиме соизмерима с продолжительностью переходного периода, то есть составляет несколько часов.

Наиболее опасными по выделению метана следует считать некачественно изолированные поля метанообильных шахт, отработанные по сплошной системе разработки с непогашенными подготовительными выработками.

Для предотвращения загазирования горных выработок (или их своевременного обнаружения) после восстановления нормального режима проветривания шахты рекомендуется: перед изоляцией отработанных вы-

емочных участков погашать подготовительные выработки (при наличии такой возможности); обеспечить качественную изоляцию отработанных выемочных участков в течение всего срока службы шахты (крыла); при проведении плановых реверсирований работникам ГВГСС контролировать концентрацию метана (помимо других точек) у сопряжений с подготовительными выработками отработанных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОП 10.0-1.01.-10 – Офиц. изд. – К., 2010. – 430 с. – (Нормативно-правовой документ Госгорпромнадзора Украины).
2. Болбат И. Е. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах/ Болбат И. Е., Лебедев В. И., Трофимов В. А. – К.: Наук. думка, 1975. – 267с.
3. Аэрология горных предприятий / [Ушаков К. З., Бурчаков А. С., Пучков Л. А., Медведев И. И.] – М.: Недра, 1987. – 421с.

Получено: 14.12. 2012 г.

Розглянуто процеси газового обміну між гірничими виробками і виробленим простором під час здійснення загальношахтного реверсування вентиляційного струменя й проаналізовано чинники, що впливають на формування вибухонебезпечного метаноповітряного середовища в діючих гірничих виробках.

Ключові слова: провітрювані виробки, ізольовані виробки, вироблений простір, вентиляційний струмінь, загальношахтне реверсування, газообмін, перехідні процеси, вентиляційний тиск, депресіограма.

Processes of a gas exchange between workings and the developed space are considered at implementation of the general shaft opposite change of a ventilating stream and the factors influencing formation of explosive aeromethan environment in operating excavations are analysed.

Key-words: ventilating working, isolate working, worked-out area, air flow, general shaft opposite change, gas exchange, transition process, ventilating pressure, pressure minimum gram.