

УДК 622.023: 539.217.5

В.А. Портола

ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НАД ОТРАБОТАННЫМИ ПЛАСТАМИ

Отработка угольных пластов приводит к нарушению целостности вышележащего массива горных пород. В процессе обрушения горных пород возможно возникновение аэродинамической связи выработанного пространства шахт и действующих горных выработок с атмосферой. Образующийся при повышении проницаемости горных пород массообмен способен негативно влиять на ситуацию в шахте, а также на экологию земной поверхности и безопасность людей, проживающих на горном отводе угледобывающих предприятий или в зонах аэродинамической связи с горными выработками. Так, фильтрация воздуха между шахтой и земной поверхностью может вызвать развитие процесса самовозгорания угля, теряющегося в выработанном пространстве. Неконтролируемые утечки воздуха могут снизить эффективность проветривания, в некоторых случаях способствовать образованию взрывоопасных скоплений горючих газов в горных выработках.

Оценивая опасность выноса шахтного воздуха на поверхность, необходимо учесть, что атмосфера выработанного пространства может содержать большое количество метана и углекислого газа. В случае развития процесса самовозгорания появляются водород, оксид углерода и другие токсичные и горючие газы. Поэтому при фильтрации на земную поверхность такой инертной газовой смеси в первую очередь в почве подавляются микробиологические процессы, гибнут растительность и фауна. Появление горючих и токсичных газов в зонах проживания и работы людей серьезно угрожает их жизни и здоровью из-за возможности

отравлений и взрывов газа. Вынос углекислого газа и метана в атмосферу способствует возникновению парникового эффекта.

Для оценки возможности и масштабов проявления всех этих негативных факторов на угольных шахтах необходимо знать величину коэффициента проницаемости подработанных горных пород. При условии ламинарного режима движения воздуха соблюдается следующее соотношение между параметрами фильтрующегося газа и горных пород

$$K = \frac{vL\mu}{H}, \quad (1)$$

где K – коэффициент проницаемости горных пород, м^2 ; v – скорость фильтрации газа через горные породы, $\text{м}/\text{с}$; L – расстояние между выработанным пространством шахты и земной поверхностью, м ; H – перепад давления газа между выработанным пространством и земной поверхностью, Па ; μ – вязкость газа, $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$.

Из приведенных в (1) параметров достаточно просто определить расстояние и перепад давления газа между выработанным пространством шахты и земной поверхностью. В ходе исследований процесса газовыделения с земной поверхности были разработаны также способы определения скорости фильтрации газов из выработанного пространства через нарушенные горные породы.

Первый способ предусматривает одновременное измерение содержания любого индикаторного газа, выделяющегося в выработанном пространстве, в приповерхностном слое почвы и изолированном надповерхностном слое атмосферного воздуха. С этой целью в почве пробива-

ют скважину глубиной 0,5 – 1,0 м и замеряют в ней концентрацию индикаторного газа. Одновременно на земной поверхности устанавливают емкость, изолирующую надповерхностный слой воздуха от влияния атмосферы, и через некоторое время измеряют в ней концентрацию выбранного индикаторного газа. Учтем, что количество выделившегося в емкость за это время с поверхности земли индикаторного газа равно

$$V_e = \tau S v C_0, \quad (2)$$

где τ – продолжительность выдержки емкости до проведения замера; S – площадь контакта изолированного объема надповерхностного слоя воздуха с земной поверхностью, м^2 ; v – скорость фильтрации газа через горные породы, $\text{м}/\text{с}$; C_0 – концентрация индикаторного газа в приповерхностном слое земли, доли ед.

В изолированном надповерхностном объеме воздуха количество этого индикаторного газа в момент замера равно

$$V_e = V_0 C, \quad (3)$$

где V_0 – объем изолированного надповерхностного слоя воздуха, м^3 ; C – концентрация индикаторного газа в емкости после выдержки, доли ед.

Приравнивая полученные соотношения (2) и (3), получаем формулу для определения скорости фильтрации газа к поверхности

$$v = \frac{V_0 C}{\tau S C_0}. \quad (4)$$

Второй метод определения скорости фильтрации предусматривает непрерывную откачу газа из емкости, изолирующей надповерхностный слой воздуха от влияния атмосферы. Количество откачивае-

мого индикаторного газа в этом случае равно

$$Q_e = QC, \quad (5)$$

где Q - расход откачиваемого из изолированного надповерхностного слоя воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

С земной поверхности выделяется следующее количество индикаторного газа

$$Q_e = vSC_0. \quad (6)$$

Приравнивая выражения (5) и (6), получаем следующее выражение для определения скорости фильтрации газа через горные породы

$$v = \frac{QC}{S C_0}. \quad (7)$$

Оценка проницаемости горных пород над выработанным пространством проводилась на шахтах Кузбасса. В качестве индикаторных газов для определения скорости фильтрации использовались метан, выделяемый углем при естественной температуре, и оксид углерода, образующийся в процессе самовозгорания угля. Для определения концентрации индикаторных газов в приповерхностном слое почвы и изолированном надповерхностном слое воздуха использовался специально разработанный переносной газоанализатор АПГ-1, позволяющий замерить концентрацию оксида углерода и водорода с точностью 0,0001 % и метана с точностью 0,01 %. Надповерхностный слой воздуха изолировался от воздействия внешней среды емкостью диаметром 160 мм и высотой 90 мм. Края емкости углубляли в почву, а отбор пробы газа производился через патрубок.

Проведенные на шахтах замеры показали, что в изолирующих емкостях, установленных на поверхности шахтного поля над выработанным пространством с очагами самовозгорания угля, происходит быстрое, в течение нескольких

минут, увеличение содержания индикаторных газов. Затем наблюдается насыщение изолированного объема воздуха и концентрация индикаторных газов стремится к постоянному значению. В большинстве случаев для проведения замеров достаточно выдержки изолирующей емкости в пределах 3-5 мин.

В качестве примера определения проницаемости подработанных горных пород можно привести шахту "Грамотеинская", где было зарегистрировано выделение пожарных газов на поверхности горного отвода (рисунок). Глубина горных работ по пласту Сычевскому 1 составляла 40-80 м, действующий напор (определялся на пробуренных скважинах) равен +220 Па. Поверхностная газовая съемка зафиксировала обширную аномалию с интенсивным выделением оксида углерода и водорода над лавой № 504 и частично над лавой № 506, отработанных в 1965-67 гг. Концентрация оксида углерода в атмосфере непосредственно у земной поверхности составляла 0,1-0,2 %. В подпольях и погребах жилых домов, расположенных на горном отводе шахты и имеющих аэродинамическую связь с зоной действия подземного пожара, содержание оксида углерода достигало 0,6-0,8 %, метана 0,7 %, водорода 1,3 % и углекислого газа 6,0 %. В несколько раз были превышены предельно допустимые концентрации оксида углерода в жи-

лых помещениях, что привело к эвакуации людей.

Кроме скорости фильтрации газа и коэффициента проницаемости горных пород в ходе эксперимента были рассчитаны и удельные потоки выделения различных газов с земной поверхности по формуле

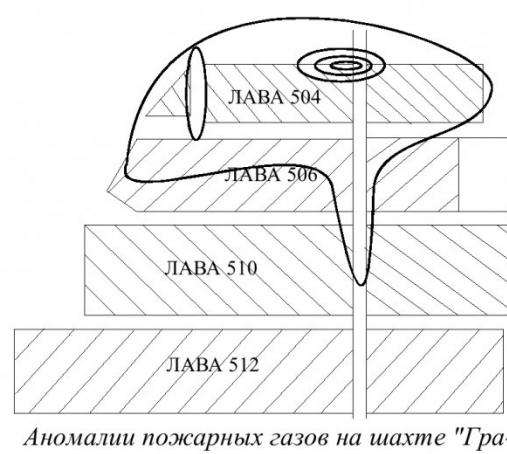
$$q = \frac{V_0 C}{\tau S}. \quad (8)$$

Исследования, проведенные на шахте «Грамотеинская», показали, что для измерения на земной поверхности удельных потоков выделения оксида углерода, водорода и метана достаточно выдержки изолирующих емкостей от 30 сек. до 5 мин. Поэтому время их выдержки на поверхности принималось равным двум минутам.

В ходе измерений удалось установить, что по скорости фильтрации газа и удельному потоку газовыделения с поверхности над лавой № 504 сформированы две аномалии. Одна располагалась над монтажной камерой, вторая над вентиляционным штреком № 504 у квершлага № 301. Аномалия, располагающаяся над вент. штреком № 504 имела четко выраженный эпицентр. Максимальная скорость фильтрации газа в горных породах над эпицентром этой аномалии, определенная по формуле (4) достигала $2 \cdot 10^{-4}$ м/с, а удельный поток выделения оксида углерода доходил до $8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$. В аномалии над монтажной камерой лавы № 504 скорость фильтрации газа составляла $7,5 \cdot 10^{-5}$ м/с, а удельный поток газовыделения оксида углерода равнялся $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

Расчеты по формуле (1) показали, что коэффициент проницаемости налегающих подработанных пород над вент. Штреком № 504 и монтажной камерой колебался в пределах от $4,8 \cdot 10^{-10}$ до $2,2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$.

Приведенный пример показал, что подземные пожары могут представлять существенную опасность для людей,



Аномалии пожарных газов на шахте "Грамотеинская"

живущих на горных отводах шахт, и для биосфера в целом. Учитывая, что общая площадь газовыделения на шахте "Грамотеинская" составила несколько тысяч квадратных метров, можно подсчитать, что из подземных очагов пожаров за сутки в атмосферу поступали десятки кубических метров оксида углерода. Еще в больших количествах в атмосферу выделялись углекислый газ и метан.

Аналогичные исследования, проведенные на шахтах Прокопьевско-Киселевского месторождения, показали, что над отработанными кругопадающими угольными пластами коэффициент проницаемости пород выше и в среднем превышал 10^{-9} м². Такие численные значения

коэффициента проницаемости получены на горном отводе шахты "Красногорская", отрабатывающей восточную часть антиклинальной складки слитых пластов Проводник, IY и III Внутренний с квершлага № 7 "юг" горизонта -20 м. Мощность пластов составляет 15 м, угол падения 65-75⁰. Выемка угля велась подэтажной гидроотбойкой. Выемочное поле имеет длину по простирианию 202 м, по падению 105 м. Глубина работ от поверхности составляет 300 м. На момент замера велись очистные работы на Y и YI подэтажных штреках. Выемочное поле находилось в зоне компрессии. Действующий напор на уровне вентиляционного горизонта +90 м составлял 562 Па,

а на уровне горизонта -20 м равнялся 1086 Па.

Таким образом, разработанные методы позволяют рассчитать скорость фильтрации газа через подработанные горные породы и их проницаемость, а также величину удельных потоков опасных газов с земной поверхности. С помощью полученных данных можно уточнить распределение утечек воздуха из шахты и оценить опасность возникновения чрезвычайных ситуаций на поверхности в случае появления в шахте источников с интенсивным выделением в токсичных и горючих газов. Появляется возможность определить запасы метана в выработанном пространстве.

Автор статьи:

Портола

Вячеслав Алексеевич
- докт.техн. наук, проф. каф. аэрологии, охраны труда и природы