

нем трещин, секущих слоёв кровли, свойства контактов слоёв, деформационно-прочностные свойства пород. Разнообразие возможных сочетаний этих параметров обуславливает многообразие возможных вариантов, различных схем деформирования пород кровли, многие из которых могут сопровождаться динамическими проявлениями с катастрофическими последствиями. При этом важно определить, что же на самом деле происходит в слоистой кровле угольного пласта, и выделить основные механизмы протекающих там явлений, т.е. построить адекватную концептуальную модель.

Критерий разрушения слоистого массива в кровле выработанного пространства — ключевой вопрос при описании ее устойчивости. В статье рассмотрено напряженно-деформированное состояние пород кровли с учетом возможного ее расслоения и формирования секущих слоёв вертикальных трещин по некоторой части контура выработанного пространства. Когда такие трещины сформируются на значительной части контура, произойдет обрушение.

Наряду с этим рассмотрено деформирование толстой тяжелой пластины с различными условиями закрепления ее контура. Такого рода пластина

призвана моделировать поведение основной (или непосредственной) кровли по мере подвигания выработанного пространства. Различные условия закрепления контура пластины соответствуют различным стадиям деформирования кровли выработанного пространства и позволяют оценить поведение кровли при образовании по ее контуру секущей трещины. Это происходит в динамическом режиме и в конечном итоге выражается в виде внезапного обрушения кровли.

Список литературы

1. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. — М.: Недра, 1980. — 360 с.
2. Кузнецов С.В., Трофимов В.А. Напряжения и смещения вокруг отработанного по простиранью участка пласта// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2000. — № 5. — С. 1–13.
3. Кузнецов С.В., Трофимов В.А. Формирование зон растяжения и расслоения в кровле протяженной очистной выработки// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2012. — № 5. — С. 1–11.

filippov.yury@gmail.com

Материал поступил в редакцию 2 марта 2015 г.

УДК.622.45:622.807.8:628.511

© В.И. Голик, В.И. Комащенко, О.Н. Полухин, 2015

## Использование зон обрушения для проветривания рудника при подземной разработке месторождений<sup>1</sup>



**В.И. Голик,**  
д-р техн. наук, проф.,  
гл. науч. сотрудник



**В.И. Комащенко,**  
д-р полит. наук,  
проф.



**О.Н. Полухин,**  
д-р полит. наук,  
проф., ректор

Центр геофизических исследований  
ВНЦ РАН  
и Правительства  
РСО-А

Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет

Приведены характеристика и дифференцированная оценка факторов загрязнения рудничной атмосферы. Научно обоснован способ борьбы с загрязненностью рудничной атмосферы путем направленного выброса газа через зону обрушения и изолированные выработки на земную поверхность, в том числе с использованием встроенной в изолирующую перемычку дренажной системы.

*The characteristic and the differentiated assessment of factors of mine atmosphere pollution are given. The way of fight against mine atmosphere pollution by the directed emission of gas through a zone of collapse and the isolated workings on a terrestrial surface, including with the use of drainage system built in the isolating dike, is scientifically substantiated.*

**Ключевые слова:** безопасность, загрязнение, рудник, атмосфера, газ, зона обрушения, выработка, земная поверхность, перемычка, дренаж, система.

**П**роблема выживания депрессивных горных предприятий после реформ 90-х годов ХХ в. требует мобилизации усилий на организа-

цию горного производства, в том числе на проветривание выработок [1].

При разработке месторождений с обрушением пород образуются зоны, по которым удаляется часть загрязненного воздуха, что влияет на состояние руд-

<sup>1</sup> В порядке обсуждения.

ничной атмосферы [2]. Целесообразность использования зон обрушения для удаления загрязненного воздуха определяется исследованиями.

Зависимость концентрации газа в выработке от кратности обмена воздуха устанавливаются по снижению его давления в обрушенной зоне за счет работы установки на всасывание. В рассматриваемом случае дренажная система находится на верхнем отработанном подэтаже и работает на отсасывание воздуха из зоны обрушения, создавая пониженное давление воздуха относительно давления в рабочем пространстве. Кратность обмена воздуха равна отношению количества воздуха, проходящего в единицу времени на исходящей струе к проветриваемому объему.

Коэффициент корреляции  $\tau$  равен 0,726 только при нагнетательном проветривании и 0,756 — при смешанном (нагнетательное и через зону обрушения):

$$\tau = \frac{1}{m} \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i - xy}{S_x S_y}$$

где  $m$  — число пар переменных;  $x_i, y_i$  — значения двух переменных;  $x, y$  — средние значения переменных;  $S_x, S_y$  — стандартные отклонения значений переменных.

Коэффициенты корреляции при нагнетательном (0,726) и смешанном (0,756) проветривании больше 0,56 и характеризуют линейную функциональную зависимость между переменными:

$$y = a + bX,$$

где  $a$  — концентрация газа на исходящей струе;  $b$  — кратность обмена свежим воздухом;  $X$  — количество выборок.

Постоянные  $a$  и  $b$  исследуемой зависимости определены графическим способом.

Количество свежего воздуха для разбавления газа до допустимой концентрации после 2 ч проветривания

$$Q = (DW^b)^{\frac{1}{b+1}} A^{\frac{1}{b+1}},$$

где  $D$  — дебит газа;  $W$  — объем выработки;  $A$  — постоянная величина, равная  $1 \cdot 10^{-9}$ .

Количество воздуха, необходимого для разбавления газа до нормы,

$$Q_n = (CW^b A^{-1})^{\frac{1}{b}} = (CW^b)^{\frac{1}{b}} (A^{-1})^{\frac{1}{b}},$$

где  $C$  — содержание газа в воздухе, ед/дм<sup>3</sup>.

Параметры проветривания связаны зависимостью

$$H = R_3 Q_0^n,$$

где  $H$  — депрессия дренажной системы;  $R_3$  — сопротивление зоны обрушения;  $Q_0$  — количество отсасываемого воздуха;  $n$  — показатель движения воздуха.

Воздух через зону обрушения движется как ламинарно, так и турбулентно. При обработке экспериментальных данных методом средних величин определяют параметры  $R_3$  и  $n$  для каждой длины зоны обрушения. Аэродинамические параметры зоны обрушения приведены ниже.

Длина зоны обрушения, м.....	6	11	15
Сопrotивление зоны обрушения, кПа (мм вод. ст.).....	0,52 (52)	0,87 (87)	2,62 (262)
Показатель движения воздуха ...	1,9	1,8	1,9
Длина зоны обрушения, м.....	21	26	30
Сопrotивление зоны обрушения, кПа (мм вод. ст.).....	2,63 (263)	3,47 (347)	6,02 (602)
Показатель движения воздуха ...	1,6	1,9	1,6
Объем отсасываемого через зону обрушения загрязненного воздуха при заданной депрессии дренажного устройства			

$$Q_0 = \sqrt[n]{HR_3^{-1}}.$$

Параметры проветривания участка зависят не только от объема подаваемого воздуха, но и от его распределения, которое провоцирует переходные газодинамические процессы. Причинами перераспределения воздуха в добычной выработке могут быть подвигание очистного забоя, обрушение пород, изменение аэродинамического сопротивления, методы регулирования объема подаваемого воздуха и др. Чаще всего дебит воздуха регулируют изменением или аэродинамического сопротивления в зоне утечек через обрушенное пространство, или объема воздуха, поступающего в забой.

Критерием оптимальности регулирования вентиляционной системы служит коэффициент утечек

$$K = Q_3 / Q_{\text{исх}},$$

где  $Q_3, Q_{\text{исх}}$  — количество воздуха соответственно в очистной выработке и на исходящей струе.

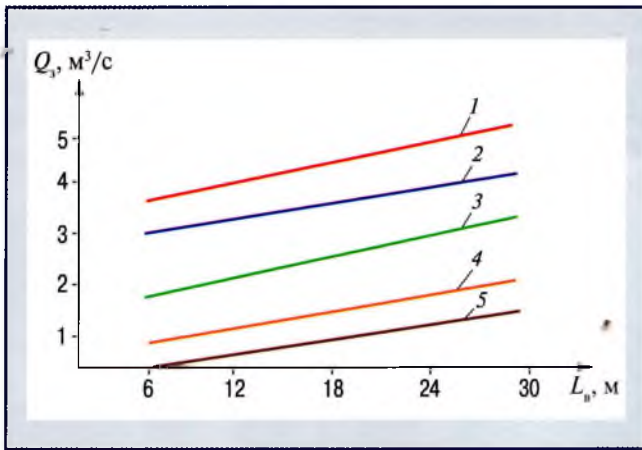
По мере подвигания забоя возможны следующие варианты проветривания (рис. 1):

при подаче в забой свежего воздуха до 1,5 м<sup>3</sup>/с и длине зоны обрушения менее 24 м воздух движется в сторону забоя. На устье добычной выработки концентрация газа небольшая, но по мере приближения к забою она повышается. Загрязненность в забое приближается к норме, она намного меньше, чем при нагнетательном проветривании;

при подаче 1,5 м<sup>3</sup>/с свежего воздуха и минимальной длине зоны обрушения объем утечки приближается к производительности дренажного устройства (см. рис. 1); вынос газа не происходит; концентрация его достигает большого значения; в забое загрязненность ниже допустимого предела;

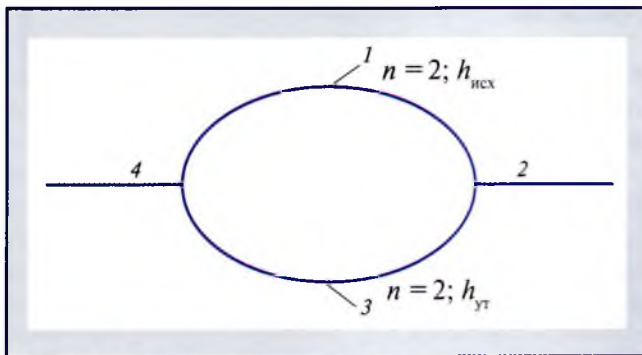
при подаче в забой более 3 м<sup>3</sup>/с воздуха требуемое его количество обеспечивается как на исходящей струе выработки, так и в забое.

При дренаже газа через зону обрушения возможны турбулентный ( $n = 2$ ), ламинарный ( $n = 1$ ) и переходный ( $1 < n < 2$ ) режимы течения.



▲ Рис. 1. Зависимость расхода воздуха в забое очистной выработки  $Q_3$  от длины выработки  $L_n$ : 1–5 — расход воздуха в забое на исходящей струе соответственно 5; 4; 3; 1,5; 1,2 м³/с

Схема параллельного соединения участков сопротивления вентиляционным струям показана на рис. 2.



▲ Рис. 2. Схема параллельного соединения сопротивлений участков вентиляционным струям: 1 — очистная выработка; 2 — устье выработки; 3 — зона обрушения; 4 — вентиляционная труба

Если

$$h_{ут} = h_{исх},$$

где  $h_{ут}$  — депрессия за счет утечки через обрушение (ветвь 1);  $h_{исх}$  — депрессия на исходящей струе (ветвь 2),

то

$$R_{ут} Q_{ут}^n = R_{исх} Q_{исх}^2,$$

где  $R_{ут}$  — сопротивление утечке при ее прохождении через зону обрушения;  $Q_{ут}^n$  — объем утечек с учетом регулирования подаваемой воздушной струи;  $R_{исх}$  — сопротивление воздуха на исходящей струе.

Для параллельной сети изменение расхода воздуха в ветвях 1 и 2:

$$R_{ут1} Q_{ут1}^n = R_{исх1} Q_{исх1}^2;$$

$$R_{ут2} Q_{ут2}^n = R_{исх2} Q_{исх2}^2,$$

при

$$R_{ут1} = R_{ут2};$$

$$R_{исх1} = R_{исх2};$$

$$Q_{ут2}^n / Q_{ут1}^n = Q_{исх2}^2 / Q_{исх1}^2.$$

Допустим, критерием является не коэффициент утечек, а глубина регулирования проветривания  $\Gamma$ , тогда

$$\Gamma = Q_2 / Q_1,$$

где  $Q_2$  — расход воздуха после его регулирования на устье очистной выработки;  $Q_1$  — расход воздуха до регулирования на устье вентиляционной трубы.

Если брать отношение большего значения расхода воздуха к меньшему и при регулировании в сторону уменьшения ставить знак «минус», то глубина регулирования утечки

$$\Gamma_{ут} = Q_{ут2} / Q_{ут1};$$

$$\Gamma_{исх} = Q_{исх2} / Q_{исх1},$$

где  $Q_{ут1}$ ,  $Q_{ут2}$  — утечки воздуха в струе соответственно в ветвях 1 и 2;  $\Gamma_{исх}$  — глубина регулирования подачи воздуха на исходящей струе.

Или  $\Gamma_{ут} = \sqrt[n]{\Gamma_{исх}^2}$ , т.е.  $\Gamma_{ут} = \Gamma_{исх}^{2/n}$ , при  $n = 1$   $\Gamma_{ут} = \Gamma_{исх}^2$ , при  $n = 2$   $\Gamma_{ут} = \Gamma_{исх}$ .

Если  $Q_{ут2} = \Gamma_{ут} Q_{ут1}$ ;  $Q_{исх2} = \Gamma_{исх} Q_{исх1}$ , то

$$\Gamma_{заб} Q_{заб1} = \Gamma_{исх} Q_{исх1} + \Gamma_{исх}^{2/n} Q_{ут1},$$

где  $\Gamma_{заб}$  — глубина регулирования подачи воздуха в забой.

Зная начальное распределение воздуха и параметр  $n$ , можно определить требуемую глубину регулирования подачи воздуха в забой для обеспечения регулирования на исходящей струе:

$$\Gamma_{заб} = \frac{\Gamma_{исх} Q_{исх} + \Gamma_{исх}^{2/n} Q_{ут1}}{Q_{заб1}}.$$

Глубина регулирования воздуха, поступающего в забой, зависит от глубины его регулирования на исходящей струе, режима движения через зону обрушения и коэффициента утечек.

Для управления проветриванием надо знать режим движения утечек через выработанное пространство. Он определяется путем обработки опытных данных методом средних величин и решения уравнения.

Показатель режима движения воздуха через зону обрушения

$$\lg H = \lg R + n \lg Q.$$

*Пример.* Оценка вентиляционных мощностей рудника.

За счет депрессии главной вентиляторной установки через нерабочие выработки и зону обрушения удаляется до 35 м³/с загрязненного воздуха. Расчетный дебит газа на исходящей струе уменьшается в 17 раз.

Использование зоны обрушения для удаления загрязненного воздуха позволяет обеспечить загрязненность на рабочих местах менее допустимых значений.

При разработке месторождений подземным способом подавать свежий воздух к подготовительным и очистным забоям, а также удалять воздух из них через зоны обрушения запрещается. Но между случаями, когда воздух поступает в шахту или когда его удаляют через зону обрушения, существует принципиальная разница. Поступление воздуха через зону обрушения опасно, потому что он может быть загрязнен продуктами окислительных процессов. Выдача же его с вентиляционного горизонта на поверхность через зону обрушения никому не угрожает.

Количество воздуха, необходимого для проветривания очистных работ, рассчитывали при условии ведения добычи на подэтаже одним забоем. Для обеспечения производственной мощности рудника очистные работы развиваются одновременно не менее чем на двух горизонтах. В рассматриваемом случае к вентиляционному относится гор. —20 м, а к добычным — гор. —70 м и гор. —120 м.

Количество свежего воздуха для проветривания очистных работ гор. —120 м, равное 30 % дебита рудника, распределяется за счет шахтной депрессии, а для проветривания горизонтов определяют из расчета, что в шахту будет подано 170 м<sup>3</sup>/с воздуха. Расчет депрессии выполнен на максимальное количество воздуха без утечек через неработающий ствол.

При расчетной депрессии рудника 1,6 кПа (160–170 мм вод. ст.) вентилятор ВОКД-3, с учетом сопротивлений при депрессии шахты 3 кПа (300 мм вод. ст.) и производительности вентилятора с учетом потерь 210 м<sup>3</sup>/с, создает давление 3,45 кПа (345 мм вод. ст.), что достаточно для обеспечения безопасности горнорабочих.

Суммарные затраты (руб/год) на проветривание рудника [3]

$$C_{\text{общ}} = Z_{\text{з.л}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{кап}},$$

где  $Z_{\text{з.л}}$  — заработная плата рабочих и инженерно-технического персонала участка вентиляции, руб/год;

$C_{\text{эл}}$  — стоимость электроэнергии на проветривание шахты, руб/год;  $C_{\text{ам}}$  — сумма амортизационных отчислений по основным промышленно-производственным фондам шахтной вентиляции, руб/год;  $C_{\text{кап}}$  — капитальные затраты в случае необходимости, руб/год.

Себестоимость 1 м<sup>3</sup>/с свежего воздуха, подаваемого в шахту для проветривания в течение года,

$$C_{\text{в}} = C_{\text{общ}} / Q_{\text{ф}},$$

где  $Q_{\text{ф}}$  — среднегодовое количество воздуха, подаваемого в шахту главным вентилятором.

Экономическая газовая эффективность оптимизации выноса газа за год (руб.)

$$\mathcal{E} = C_{\Delta Q},$$

где  $\Delta Q$  — дефицит свежего воздуха.

Дифференцированная оценка факторов загрязнения рудничной атмосферы позволяет обосновать возможность проветривания горных работ путем выброса газа через зону обрушения с использованием встроенной в изолирующую переемычку дренажной системы.

### Выводы

1. Глубина регулирования подачи воздуха в забой зависит от параметров управления исходящей струей.

2. Действующие вентиляционные мощности рудника могут оказаться достаточными при рациональном использовании зон обрушения для обеспечения свежим воздухом и сохранения безопасных условий труда.

### Список литературы

1. Голик В.И. Разработка месторождений полезных ископаемых. — Владикавказ: МАВР, 2006. — 645 с.
2. Актуальные вопросы добычи цветных, редких и благородных металлов/ В.К. Бубнов, В.И. Голик, А.М. Капканшиков и др. — Акмола: Жана-Арка, 1995. — 601 с.
3. Шестаков В.А., Шаляпин В.Н., Литовченко Т.В. Теория оптимизации и совершенствования подземной разработки сложных рудных залежей. — Новочеркасск: ЮрГТУ, 2005. — 24 с.

v.i.golik@mail.ru

Материал поступил в редакцию 27 января 2015 г.



## Интернет-магазин shop.safety.ru

С 1 августа 2013 г. работает интернет-магазин shop.safety.ru, в котором представлены товары (нормативные документы, периодические издания, программные средства) и услуги (подготовка и аттестация по промышленной безопасности), предлагаемые Группой компаний «Промышленная безопасность».

### Будем рады сотрудничеству!

По всем вопросам обращайтесь:

тел/факсы: (495) 620-47-53, 640-47-52. E-mail: shop@safety.ru