

## **К ВОПРОСУ О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОВОЙ СИТУАЦИИ В ВЫСОКОНАГРУЖЕННОЙ ЛАВЕ**

Представлені результати теоретичних досліджень газової ситуації в високонавантажній лаві при високих швидкостях її посування в залежності від фізико-механічних властивостей розроблюваного газонасиченого вуглепородного масиву і параметрів технології ведення робіт. Показано, що використання системи локального геоконтролю у цьому випадку дозволяє підвищити ефективність і безпеку ведення робіт. Обрано й обґрунтований набір параметрів системи локального геоконтролю газової ситуації в лаві.

## **TO THE QUESTION ABOUT THE MATHEMATICAL MODEL OF GAS SITUATION IN HIGH-LOADED LAVA**

There are presented results of theoretical researches the gas situation in high-loaded lava under high speeds of its moving in dependence from physical-mechanical properties worked gas-saturated rock-coal massive and parameters of technology. It's showed, that using the system of local geocontrol in case, permits to rise efficiency and safety of working. It choose and based the composition of parameters the system of local geocontrol.

В настоящее время, несмотря на разные стратегии, в большинстве угледобывающих стран мира развитие топливно-энергетического комплекса идет в направлении интенсификации производства, сокращения численности работающих, повышения производительности труда и концентрации угледобычи на лучших предприятиях отрасли.

Стратегия развития угольной промышленности Украины направлена на поддержание добычи на уровне, необходимом для обеспечения страны собственными топливными ресурсами [1,2]. Для этого следует совершенствовать структуру шахтного фонда, сосредоточить добычу на лучших шахтах и развивать способные к высокопроизводительной деятельности предприятия.

Опыт работы передовых отечественных и зарубежных шахт [2-5] показывает, что одним из принципиальных новшеств, вводимых на передовых шахтах, является последовательное снижение числа одновременно отработываемых лав при значительном повышении среднесуточной нагрузки на забой. Этому соответствует ряд факторов: увеличение длины лавы, существенное повышение мощности приводов и скорости подачи выемочных машин, значительное внимание, уделяемое надежности машин и оборудования, что не может не отразиться на повышении их коэффициента готовности и полного ресурса. С таких высоконагруженных лав (ВЛ) добыча угля весьма эффективна, вследствие чего существенно увеличивается рентабельность шахты. С другой стороны, при использовании ВЛ, вопросы безопасности приобретают еще большую остроту. Это связано, в первую очередь, с недостаточной изученностью закономерностей протекания геомеханических процессов в массиве при существенной интенсификации ведения очистных работ. Как указывается в работах [5,6], на безопасность работ существенное влияние оказывает длина лавы. С ее увеличением количество обрушений возрастает.

Факторы, влияющие на безопасность работ в лаве можно разделить на следующие 2 наиболее важные группы: повышенное метановыделение; обрушения пород из кровли.

По данным работ [6, 7], с увеличением скорости подвигания очистного забоя вероятность обрушений пород непосредственной кровли уменьшается, в связи с чем наиболее существенным является фактор «повышенное метановыделение». Существование этого фактора неизбежно, в особенности, при высоких скоростях подвигания лавы. Основными причинами взрывов на шахтах являются загазованность выработок из-за низкой эффективности их вентиляции и дегазационных работ, запыленность и несовершенство аппаратуры контроля за пылегазовым режимом. На протяжении 1991-2001 годов средняя эффективность дегазации шахт Украины в связи с значительным увеличением количества выделяющегося метана при увеличении скорости подвигания лавы, уменьшилась с 23 до 17%. Объем метана, извлеченного дегазационными системами уменьшился с 590 до 230 млн.м<sup>3</sup> в год. Количество шахт, которые используют дегазацию, уменьшилось с 86 до 45.

Весьма существенное влияние на распределение давления газа оказывают проницаемость пласта и скорость подвигания забоя. Давление газа в призабойной зоне растет с увеличением скорости подвигания забоя и уменьшением проницаемости пласта [8].

По данным работы [9, 10] особое место в формировании опасной концентрации метана в атмосфере очистных забоев при системе разработки длинными столбами по простиранию, проветриваемых по возвратноточной на целик схеме занимают зоны сопряжения с воздухоотводящими выработками (вентиляционными штреками - при восходящем способе проветривания и конвейерными штреками - при нисходящем). Вследствие недостаточного поступления воздуха, проходящего по этим зонам, и значительного (до 50% общей газообильности выемочного участка) количества метана, выделяющегося в выработанное пространство, в таких местах формируются недопустимые по ПБ концентрации метана. В случае обнаружения повышенных концентраций почти всегда принимается пассивная мера - остановка выемки угля в очистном забое, что снижает рентабельность шахт.

К активным способам устранения газовой опасности относятся предварительная дегазация, локальный газоотсос и каптаж метана, которые не всегда эффективны [10, 11]. Низкая надежность локальных средств борьбы с загазованностью обуславливает необходимость оценивать забой по объективно существующей газовой опасности. В оценке нормального и аварийного режимов проветривания любое, даже незначительное проявление опасности без принятия нейтрализующих или предупреждающих мер может стать причиной аварийной ситуации. В то же время соответствующими техническими решениями (в том числе по проветриванию) предусматривается обеспечение безопасных условий работы. На первый план ставится правильность оценки проявления опасности с учетом предвиденных заранее неравномерностей ее колебания. Особое значение достоверность такой оценки приобретает при работе ВЛ, когда скорость подвигания забоя лавы увеличивается в несколько раз.

Газовыделение из рабочего пространства лавы складывается из газовыделения: с поверхности забоя  $q_z$ , с поверхности отбитого угля  $q_{отб}$ , с обнаженной поверхности боковых пород  $q_{вм}$  и из выработанного пространства  $q_{вп}$

$$q = q_z + q_{отб} + q_{вм} + q_{вп} \quad (1)$$

Согласно материалам работы [1], объем метана, выделившегося в единицу времени с единицы поверхности очистного забоя при его равномерном продвижении ( $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{-сут.})$ ):

$$V_{обн} = v_{оч} \rho \left[ \frac{1-p_o}{p} \left( 1 + \frac{b}{m} \right) \right], \quad (2)$$

где  $V_{обн}$  - объем метана, проходящего через  $1 \text{ м}^2$  поверхности угольного забоя в сутки, ( $\text{м}^3/\text{см}^2\text{-сут.}$ );  $v_{оч}$  - скорость продвижения забоя, м/сут;  $p_o$  - природное давление газа в пласте, МПа;  $p$  - давление газа на поверхности угля, МПа;  $b = \text{const}$  (из изотермы абсорбции);  $\rho$  - коэффициент пористости угля,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

$$b = 1,3 \frac{T_o P_o}{273 P_o} (q_o - q_a), \quad (3)$$

где  $T_o$  - температура газа,  $^{\circ}\text{K}$ ;  $P_o$  - атмосферное давление;  $q_o$  - количество сорбированного метана углем в природных условиях;  $q_a$  - количество сорбированного метана при атмосферном давлении.

Газоносность угля в зоне выемки  $x_g$  зависит от скорости продвижения очистного забоя  $v_{оч}$ , ширины захвата выемочной машины  $r$ , степени метаморфизма угля  $V^{daf}$ , природной газоносности  $x_y$  и глубины разработки  $H$ . С увеличением  $v_{оч}$  и  $r$  она возрастает, с увеличением  $H$  - уменьшается. При прочих равных условиях для антрацитов и углей марок Г, Д она выше, чем для углей марок ОС, К, Ж :

$$x_g = x_y ( 1 - 0,8 e^{-K} ), \quad (4)$$

где  $K$  - коэффициент, учитывающий влияние на метаноносность угля в зоне выемки значений  $v_{оч}$ ,  $V^{daf}$ ,  $r$  и  $H$  :

$$K = 0,25 v_{оч} [ 0,004 V^{daf} - A^2 + 1,3 ] (1,37 - 0,00095 H) ( 0,58 + 0,4 r ) \quad (5)$$

где  $A$  - коэффициент, зависящий от выхода летучих веществ. При  $V^{daf} < 22\%$  и  $V^{daf} > 22\%$  значения  $A$  соответственно равны 27 и 17%. Газовыделение из отбитого угля  $q_{отб}$  выражается соотношением:

$$q_{отб} = x_{отб} \gamma r m_y, \quad (6)$$

где  $x_{отб}$  - газоносность отбитого угля;  $\gamma$  - удельный вес угля,  $\gamma = 1,27 \text{ т/м}^3$ ;  $m$  - мощность пласта.

Общий дебит метана из отбитого угля:

$$Q_{отб} = \kappa_l q_{отб} t_l L \quad (7)$$

где  $t_l$  - время пребывания отбитого угля в рабочем пространстве лавы;  $\kappa_l$  - коэффициент, учитывающий газоотдачу из отбитого угля ( $\kappa_l \leq 1$ ).

В работе [7] процесс выделения метана из отбитого угля предложено описывать зависимостью вида:

$$q_{отб} = q_o (t + 1)^{-n}, \quad (8)$$

где  $q_o$  - начальная интенсивность газовыделения в момент отрыва угля от массива;  $(t + 1)$  - время с момента отрыва угля;  $n$  - коэффициент, зависящий от физико-химических свойств угля.

Тогда общее количество метана, поступившее за весь период нахождения отбитого угля в рабочем пространстве лавы, может быть определено интегрированием выражения (8):

$$Q_{отб} = \int_0^{t_1} q_{отб} dt = \int_0^{t_1} q_o (t + 1)^{-n} dt. \quad (9)$$

После интегрирования получаем:

$$Q_{отб} = \frac{q_o t_1^{1-n}}{1-n}. \quad (10)$$

С технологической точки зрения, дебит метана с поверхности забоя :

$$Q_z = x_y m_y L v_{оч}, \quad (11)$$

где  $L$  - длина лавы.

Дебит метана из вмещающих пород может быть выражен в виде :

$$Q_{вм} = x_{вм} S m_{вм} v_{оч}, \quad (12)$$

где  $x_{вм}$  - газоносность вмещающих пород;  $S$  - площадь их обнажения в рабочем пространстве лавы;  $m_{вм}$  - мощность породного слоя.

Газовыделение из подготовительных выработок в силу того, что время их существования по сравнению со временем существования лавы достаточно велико, можно считать величиной постоянной и в сравнении с дебитом газа из лавы пренебрежимо малым.

Таким образом, балансовое уравнение дебита метана с учетом соотношений (6), (11) и (12), можно записать:

$$Q_z = x_g m_y L v_{оч} + \kappa_l x_{отб} \gamma r L + x_{\kappa} S m_{\kappa} v_{оч} + x_n S m_n v_{оч}, \quad (13)$$

где  $x_v, x_{отб}, x_k, x_n$  - соответственно газоносности угольного пласта, отбитого угля, кровли и почвы;  $m_y, m_k, m_n$  - мощности угольного пласта, кровли и почвы.

На основе полученных результатов, Мещаниновым С. К. впервые сформулировано научное положение о том, что безопасная концентрация метана в рабочем пространстве лавы, являющаяся одним из основных факторов, определяющих уровень безопасности по газовому фактору, находится в линейной зависимости от скорости подвигания забоя, длины лавы, производительности выемочной машины, количества подаваемого воздуха, а также от газоносности и размеров угольного пласта, кровли и почвы выработки.

Рассмотрим распределение выделяющегося газа в рабочем пространстве лавы. В ходе ведения очистных работ по рабочему пространству лавы идет вентиляционная струя с дебитом  $Q_{возд}$ :

$$Q_{возд} = v_{вент} m_y b \quad (14)$$

где  $v_{вент}$  - скорость движения воздуха;  $b$  - ширина рабочего пространства лавы.

Концентрация метана в атмосфере рабочего пространства лавы выражается соотношением:

$$C = \frac{Q_r}{Q_r + Q_{\%}} \quad (15)$$

где  $Q_r$  - общий дебит метана в рабочее пространство лавы;  $Q_v$  - количество поступающего в лаву воздуха. Анализируя соотношения (13) - (15), а также принимая величину удельной газоносности угля  $x_y$  соответственно  $10 \text{ м}^3/\text{т}$ ;  $20 \text{ м}^3/\text{т}$  и  $30 \text{ м}^3/\text{т}$ , можно построить зависимости количества воздуха, необходимого для обеспечения взрывобезопасной концентрации метана в рабочем пространстве лавы (рис. 1), без расчетов очевидно, что в современных условиях система шахтной вентиляции не в состоянии справиться с задачей обеспечения безопасной работы ВЛ по газовому фактору.

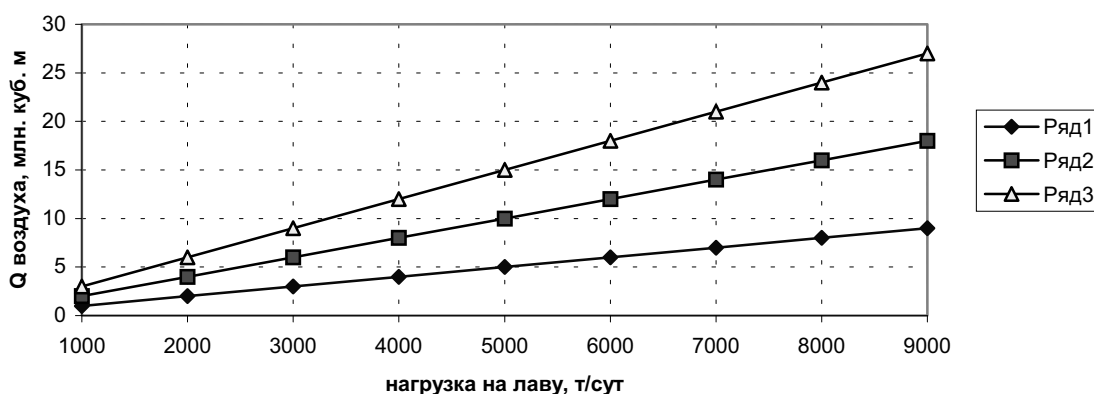
Предварительные локальные дегазационные мероприятия по извлечению метана из пласта впереди лавы из подготовительных выработок малоэффективны. Кроме того, при работе ВЛ, такие мероприятия часто оказываются экономически нецелесообразными. Наиболее рациональным в этом случае представляется эксплуатация ВЛ по текущему состоянию газовой ситуации, контроль которого может обеспечить локальная система геоконтроля газового состояния.

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что для обеспечения безопасной работы ВЛ необходимо создание локальной системы геоконтроля, позволяющей оперативно контролировать газовую ситуацию при работе ВЛ непосредственно на рабочих местах.

К основным параметрам системы геолокального контроля могут быть отнесены, в первую очередь, такие параметры, значения которых непосредственно несут информацию об изменении обстановки в лаве, в данном случае, имеется в виду, прежде всего, уровень концентрации метана, который измеряется непосредственно приборами контроля содержания метана в шахтной атмосфере.

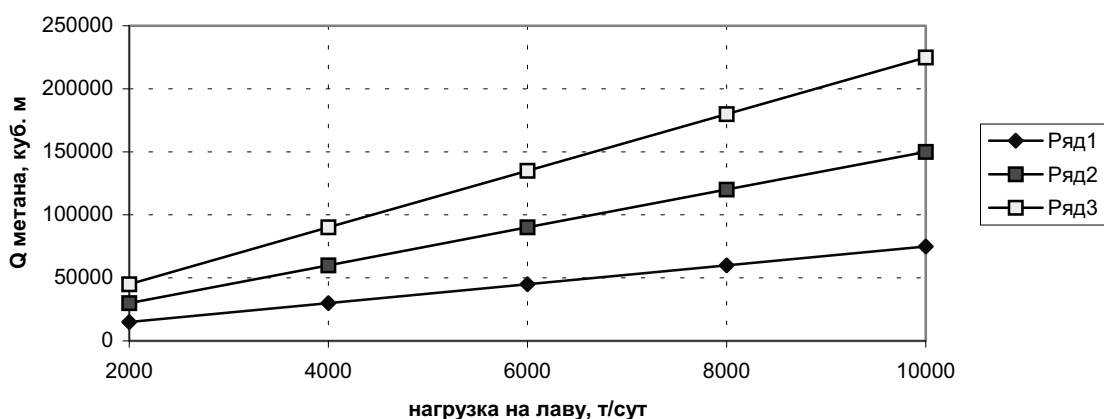
Существует также и ряд опосредованных параметров, как было показано выше соотношения (13) - (15)), изменение которых приводит непосредственно к изменениям концентрации метана в шахтной атмосфере. К ним могут быть отнесены: длина лавы  $L$ , газоносность угольного пласта  $x_y$ , отбитого угля  $x_{отб}$ , газоносность пород кровли и почвы  $x_k, x_n$  и мощности  $m_y, m_k, m_n$  угольного пласта кровли и почвы, скорость подвигания забоя  $v_{оч}$ , размеры исполнительного органа выемочной машины  $r$ , а также скорость движения воздуха  $v_{вент}$ .

**Зависимость количества воздуха, необходимого для обеспечения взрывобезопасной концентрации метана в рабочем пространстве лавы от нагрузки на лаву**



1 –  $x = 10 \text{ м}^3/\text{т}$ ; 2 –  $x = 20 \text{ м}^3/\text{т}$ ; 3 –  $x = 30 \text{ м}^3/\text{т}$ .

**Зависимости газовыделения из пласта от нагрузки на лаву**



1 –  $x = 10 \text{ м}^3/\text{т}$ ; 2 –  $x = 20 \text{ м}^3/\text{т}$ ; 3 –  $x = 30 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Рис.1 - Зависимости количества воздуха, необходимого для обеспечения взрывобезопасной концентрации метана в рабочем пространстве лавы от нагрузки на лаву, и зависимости газовыделения из пласта от нагрузки на лаву

Таким образом, если обозначить уровень безопасности по концентрации метана в шахтной атмосфере символом  $Z$ , то параметры системы геолокального

контроля по газовому фактору могут быть объединены некоторой функциональной зависимостью:

$$Z=f_1(L, x_y, x_{отб}, x_k, x_n, m_y, m_k, m_n, v_{оч}, r, v_{вент}), \quad (16)$$

где  $f_1$  - некоторая функция.

В более простом виде соотношение (16) можно переписать:

$$Z=f_2(C), \quad (17)$$

или:

$$C=f_3(L, x_y, x_{отб}, x_k, x_n, m_y, m_k, m_n, v_{оч}, r, v_{вент}), \quad (18)$$

где  $f_2, f_3$  - некоторые функции.

Анализ выражений (16) - (18) позволяет сделать вывод о том, что уровень концентрации метана в шахтной атмосфере является функцией многих переменных, включающих физико-механические свойства обрабатываемого участка массива, основные параметры технологии ведения работ и системы вентиляции. Сравнивая зависимости (16) - (18), можно утверждать, что уровень безопасности шахтной атмосферы можно оценивать только по одному параметру - концентрации в ней метана. Однако такой подход неверен, в особенности, применительно к ВЛ. Это обусловлено тем, что концентрация метана является интегральным показателем, величина которого зависит от набора переменных - см. соотношение (18). Контроль только одной величины - концентрации метана не позволяет адекватно анализировать причины изменения газовой ситуации и, как следствие, принимать своевременные меры. Поэтому, в целях повышения уровня безопасности работы ВЛ, необходимо создание целостной системы локального геоконтроля газовой ситуации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Програма підвищення безпеки праці на вугільних шахтах /Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 6 липня 2002 р., № 939.
2. Лаптев А. Г. Перспективы развития угольной промышленности на базе технического перевооружения отрасли //Уголь Украины. - 2002. - № 2-3. - С. 15-16.
3. Теньес Б. Инновационные высокопроизводительные добычные участки на шахтах компании ДСК - первые итоги и следствия //Глюкауф. - 2000. - №4. - С. 11 - 17.
4. Фиалковский В., Каспрчак Я. Высокопроизводительные лавы, оснащенные новыми забойными конвейерами PF4 на каменноугольной шахте «Богданка» //Глюкауф. - 1998. - № 1. - С.13-17.
5. Земрау Г., Химигвег Г. Контрольный прогноз развития энергетического хозяйства объединенной Германии до 2020 года // Глюкауф. - 1996. - № 2. - С.45-51.
6. Кравченко В. И. Безопасность при управлении горным давлением в лавах пологих пластов. - М.: Недра, 1975. - 221 с.
7. Черняк И. Л. Ярунин С. А. Управление состоянием массива горных пород. - М.: Недра, 1995. - 395 с.
8. Медведчук Н. Д. Влияние скорости подвигания очистного забоя на проявление горного давления при выемке угольных пластов// Автореф. дисс..... канд. техн. наук. - Донецк, 1968. - 27 с.
9. Теоретические и экспериментальные исследования газового состояния массива горных пород /И. В. Сергеев, Д. И. Бухны, А. Е. Фитерман. - М.: Наука, 1988. - 110 с.
10. Петросян А. Э., Сергеев И. В., Устинов Н. И. Научные основы расчета параметров горных выработок по газовому фактору. - М.: Наука, 1969. - 128 с.

## **УДК 622.281.001.2002.2**

В.В. Гамаюнов

### **ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КАПИТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Піднято комплекс питань, спрямованих на зниження витрат на кріплення, підтримку і забезпечення нормального стану гірських виробок на основі рішення задач по підвищенню стійкості породного масиву, створення сприятливих умов для роботи кріплення, удосконалення конструкцій кріплення, підвищення довговічності матеріалів кріплення, організацію галузевої системи спостереження за станом виробок і переробку основних нормативних документів по проектуванню гірських виробок.

### **PROBLEM QUESTIONS OF STABILITY MAINTENANCE OF COAL MINE DRIFTS**

It is examined the problem questions of stability maintenance of coal mine drifts on base of sum solution of the rock stability increase.

Необходимость обеспечения высокой надежности энергоснабжения обусловила в мировой энергетической политике ориентацию на преимущественное потребление угля. Так, в США за последние 20 лет потребление угля возросло почти на 20 %, в настоящее время около 60 % электроэнергии производится с использованием угля. В Китайской народной республике угольная отрасль дает 75 % всех первичных энергоносителей, и она продолжает развиваться с темпами ежегодного роста 4,5 %. Тенденция к увеличению добычи угля наблюдается и в других странах.

В Украине роль угля также возрастает с учетом потребности в нем для народнохозяйственных нужд, в связи с недостатком собственных природного газа и жидкого топлива. Программой "Українське вугілля" предусмотрено довести годовую добычу угля к 2010 г. до 110 млн. т. Важнейшим направлением развития угольной промышленности является снижение издержек производства и изыскание путей минимизации суммарных расходов на добычу угля. Эта проблема не может быть успешно решена без снижения расходов на крепление и поддержание горных выработок, составляющих 50-70 % их общей стоимости.

Развитие угольной промышленности Украины связано с освоением новых месторождений, отработкой шахтных полей и подготовкой новых добычных горизонтов, характеризующихся сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями. Ухудшение общей геомеханической обстановки вызвано ростом глубины разработки, а также вовлечением в эксплуатацию залежей со слабометаморфизованными неустойчивыми вмещающими породами. В связи с этим сооружение и поддержание горных выработок потребовало применения более материалоемкой крепи и трудоемких способов крепления, что привело к снижению темпов и удорожанию их проведения. Однако использование более сложных и тяжелых конструкций крепи не обеспечивает должной сохранности