

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-106-110

УДК 550.423

## ПРОГНОЗ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### THE PREDICTION OF METHANE EMISSION ON LONGWALL PANELS BY TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF GEOMECHANICAL PROCESSES

Черданцев Андрей Михайлович <sup>1</sup>,

главный инженер

Cherdantsev Andrey M.<sup>1</sup>, chief engineer

Сидоренко Андрей Александрович <sup>2</sup>,

кандидат техн. наук, e-mail: sidorenkoaa@mail.ru

Sidorenko Andrey A.<sup>2</sup>, C.Sc. (Engineering)

<sup>1</sup>Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, 650065, Россия, г. Кемерово, Ленинградский проспект, 10

<sup>1</sup>Coal Institute of FRC CCC SB RAS, 10, Leningradsky Ave., Kemerovo, 650065, Russian Federation

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Россия, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2,

<sup>2</sup> Saint Petersburg Mining University, 21 line, 2, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation

**Аннотация.** Показана актуальность проведения исследований, направленных на изучение газодинамических процессов на выемочных участках. Выполнен анализ результатов технического перевооружения предприятий угольной промышленности и современных условий ведения очистных работ на выемочных участках при интенсивной отработке запасов газоносных пластов. Предложен методический подход для прогноза газовой выделенности на выемочном участке, основанный на оценке шага обрушения основной кровли. Представлена методика расчета первичного и последующего шагов обрушения основной кровли. Приведены графические зависимости шага обрушения основной кровли от скорости продвижения очистного забоя при различной прочности пород кровли и выполнен анализ влияния других факторов. Выполнен анализ динамики газовой выделенности для пяти выемочных столбов и установлена периодичность максимальной газовой выделенности в условиях шахты им.В.Д.Ялевского. Выявлены причины широкого диапазона значений величины периода максимальных газовой выделенности и выделены горно-геологические и горно-технические факторы, определяющие периодичности протекания геомеханических процессов в подработанной толще. Сделан вывод о необходимости учета взаимосвязи геомеханических и газодинамических процессов на выемочных участках газовых шахт при прогнозировании газовой выделенности и разработке эффективных способов управления метановой выделенностью в горные выработки

**Abstract.** The relevance of studies carried out for studying gas dynamic processes on longwall panels is shown. The analysis of results of modernization of coal mines and modern conditions of coal mining in longwall panels at intensive mining of gas-bearing seams is made. The methodical approach for the forecast of gas emission in longwall panels based on assessment of a roof-caving increment of the main roof is offered. The method of calculation of primary and subsequent roof-caving increment of the main roof is presented. Graphic dependences of a roof-caving increment of the main roof on the speed of a longwall coal face advancing are given at various strength of roof strata and the analysis of influence of various factors is made. The analysis of dynamics of gas emission for five longwall panels is made and frequency of the maximum gas emission in the conditions of the mine of V.D. Yalovsky is established. The reasons of wide range of values describing the period of the maximum gas-emission are specified and geological and mining factors defining the frequency of geomechanical processes in undermined strata are given. The conclusion is drawn that there is a need to consider the interrelation of geomechanical and gas dynamic processes in longwall panels of gas mines when forecasting gas emission and developing effective ways of management of methane emission in excavations.

**Ключевые слова:** подземная разработка, угольные пласты, метановыделение, геомеханические процессы, шаг обрушения основной кровли, дегазация, управление газовой выделенностью

**Keywords:** underground mining, coal seams, methane emission, geomechanical processes, roof-caving increment, gas drainage, gob area, gas management

**Введение.** Высокая частота и тяжесть техногенных аварий, связанных с взрывами метановоздушных смесей при добыче угля в газовых шахтах России, а также значительное отставание нормативной и методической базы, обеспечивающей прогноз и эффективное управление газовыделением в горные выработки, от темпов повышения интенсивности отработки запасов выемочных участков, определяют необходимость проведения исследований, направленных на уточнение закономерностей протекания процессов газовыделения на выемочных участках. Кроме того, угольные шахты являются одним из основных (четвертым по величине) источников эмиссии метана - парникового газа, что требует разработки и использования эффективных способов и средств утилизации шахтного метана, основанных на глубоком понимании газодинамических процессов.

В связи с осуществляемым техническим перевооружением предприятий угольной промышленности России в последние годы исследования по управлению газовыделением в выработки выемочных участков проводятся применительно к условиям работы очистных забоев с высокими нагрузками, достигающими при отработке мощных пластов 25-30 тыс тонн в сутки, а в отдельных случаях стабильно превышающими 50 тыс. тонн в сутки (шахта им.В.Д.Ялевского, 2016-2017 годы). Увеличение нагрузки на очистные забои сопровождается высокими темпами отработки запасов и предопределяет рост параметров выемочных участков: длины лавы до 400 м и более и длины выемочных столбов до 7 км. На долю выработанных пространств в таких условиях приходится до 90% всего газовыделения выемочного участка, величина которого достигает 150 м<sup>3</sup>/мин и более. Основным источником газовыделения являются сближенные подрабатываемые и надрабатываемые газоносные пласты. Причем на долю выше лежащих пластов приходится, как правило, более 60% газовыделения из пластов спутников, что обусловлено значительным распространением в кровлю пласта зоны интенсивной трещиноватости. Непрерывный рост вынимаемой мощности разрабатываемых пластов, при постоянном увеличении длин лав и размеров выемочных столбов, рост производительности и скорости подвигания длинных очистных забоев обуславливают повышение интенсивности протекания газогеохимических процессов на выемочных участках шахт, обрабатывающих свиты газоносных угольных пластов [1, 7, 9]. Таким образом, изучение специфических особенностей протекания геомеханических и газодинамических процессов при интенсивной отработке выемочных участков является необходимым условием надежного прогноза газовыделения [13] и обеспечения безопасной отработки запасов газоносных угольных пластов [9].

**Теория.** Отработка запасов выемочного участка приводит к последовательному обрушению вслед

за подвиганием лавы пород непосредственной и основной кровли и развитием над зоной полных обрушения зоны интенсивной трещиноватости, достигающей в высоту 40 вынимаемых мощностей пласта. Таким образом, при отработке мощных угольных пластов формируются условия для поступления газа из подрабатываемых пластов, находящихся на расстоянии до 200 м и более от разрабатываемого пласта. Повышение интенсивности газовыделения на выемочных участках, как правило, при прочих равных условиях, связывают с ростом нагрузок на очистной забой [3, 5]. Однако, шахтными наблюдениями установлено продолжительное газовыделение даже при длительной остановке лав, а также существенное изменение газовыделения в течении нескольких дней, характеризующее некоторой периодичностью снижения и повышения метанообильности выемочного участка при постоянной нагрузке на очистной забой [2, 6, 7]. Причиной указанной периодичности газовыделения является соответствующая периодичность протекания геомеханических процессов, происходящих в выработанном пространстве. После выемки угля и подвигания лавы в подработанной толще активизируются процессы деформирования, сдвижения и обрушения пород с развитием зоны полных обрушений и интенсивной трещиноватости. Развитие трещиноватости до ближайшего газоносного пласта приводит к временному резкому повышению метановыделения в выработанное пространство выемочного участка, а периодичность обрушения прочных пород междупластья определяет дальнейшее развитие зоны интенсивной трещиноватости. Таким образом, по нашему мнению, для прогноза периодичности газовыделения при отработке сближенных пластов следует использовать данные о шаге обрушения основной кровли.

В соответствии с применяемым в Кузбассе инструкцией «Временное руководство по расчету первичного и последующих шагов обрушения пород кровли при разработке угольных пластов длинными столбами по простиранию в условиях Кузбасса» (ВостНИИ) первичный  $r_{пер}^o$  и последующие  $r_{посл}^o$  шаги обрушения основной кровли определяются по формулам:

$$r_{пер}^o = 36 \cdot (1 + \sin \alpha) \frac{F_{кр}^o \sqrt{V}}{\sqrt{D}} + 10,5 \cdot \sqrt{V} (1 + \sin \alpha) e^{-0,7 \frac{h_{кр}^o}{F_{кр}^o}} \quad (1)$$

$$r_{посл}^o = 10,5 \cdot \sqrt{V} (1 + \sin \alpha) e^{-0,7 \frac{h_{кр}^o}{F_{кр}^o}} \quad (2)$$

где :  $\alpha$  - угол падения пласта, град;  $D$  - длина лавы, м;  $F_{кр}^o$  - коэффициент крепости пород основной кровли;  $V$  - средняя скорость подвигания очистного забоя, м/сут;  $h_{кр}^o$  - величина зоны активного расслоения пород, м.

Выполненный по указанной методике расчет установившегося (последующего) шага обрушения основной кровли позволит прогнозировать периодичность максимальной метанообильности выемочного участка. Для оценки правильности реализуемого подхода к прогнозу метанообильности выемочных участков необходимо выполнить расчет шага обрушения по представленной методике ВостНИИ и анализ результатов мониторинга газовыделения на выемочных участках по мере отработки запасов выемочного столба и подвигания лавы.

**Результаты и обсуждение.** Исследования геомеханических процессов были выполнены в условиях отработки пласта 52 на шахте им.В.Д.Ялевского (бывшие шахты «Котинская» и «№7»), ведущей отработку запасов Соколовского месторождения Ерунаковского геолого-экономического района, и являются развитием исследований, выполненных авторами работы для условий выемочного участка 5209 [10, 12]. Пласт 52 сложного строения, имеет среднюю мощность 4,24 м, стратиграфически располагается на 36 м выше пласта 51 ( $m=1,8$  м) и на 40 м ниже пласта 53 ( $m=1,3$  м). Основная кровля пласта 52 разнообразна по литологическому составу. Мощность прогнозируемой кровли колеблется от 4,66 до 31,0 м. В пределах анализируемых участков пласт залегает на глубине 250-400 м, природная газоносность составляет 9-10 м<sup>3</sup>/т на тонну. Следует отметить, что при отработке пласта используется одна из эффективных схем управления газовыделением [11], предусматривающая применение комбинированной схемы проветривания выемочного участка, дегазацию выработанного простран-

ства с использованием дегазационных скважин, пробуренных с земной поверхности и изолированный отвод метана через сбросные скважины.

С использованием методики ВостНИИ был выполнен расчет шага обрушения основной кровли и построены графические зависимости (рис. 1) последующего шага обрушения основной кровли от скорости подвигания очистного забоя для различных значений крепости основной кровли. Как видно из рис. 2 скорость подвигания очистного забоя оказывает значительное влияние на шаг обрушения основной кровли. Наибольшее влияние прослеживается в диапазоне скоростей от 1 до 5 м/сут – изменение шага обрушения более чем в 2 раза. Дальнейшее увеличение скорости подвигания очистного забоя приводит к пропорциональному росту шага обрушения основной кровли. Также на шаг обрушения оказывает значительное влияние прочность пород основной кровли: увеличение крепости пород с 3 до 9 приводит к росту шага обрушения примерно в 1,6 раза. Анализ нагрузок на очистные забои показал значительное изменение скорости подвигания очистных забоев, как в пределах выемочных столбов, так и в пределах рассматриваемого участка шахтного поля по пласту 52. Также для условий рассматриваемого пласта выявлена значительная изменчивость литологического состава и свойств пород кровли. Таким образом, шаг обрушения основной кровли в условиях рассматриваемых участков претерпевает значительные изменения даже при постоянной скорости подвигания очистного забоя, а изменение скорости еще больше снижает точность прогноза параметров геомеханических процессов.

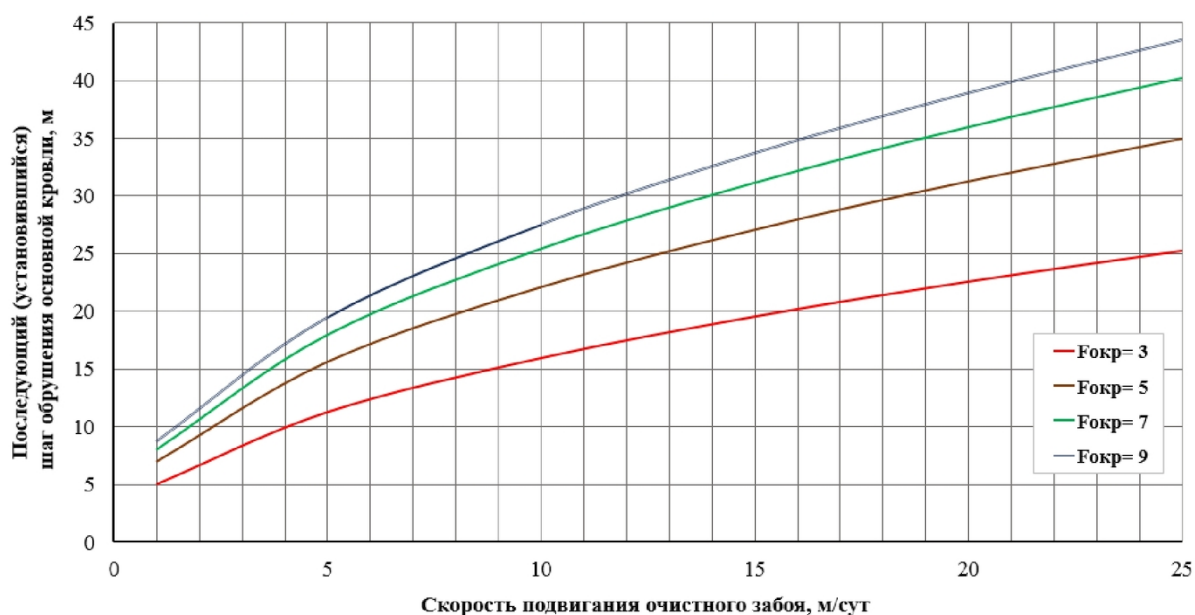


Рисунок 1 – Влияние скорости подвигания лавы на шаг обрушения основной кровли



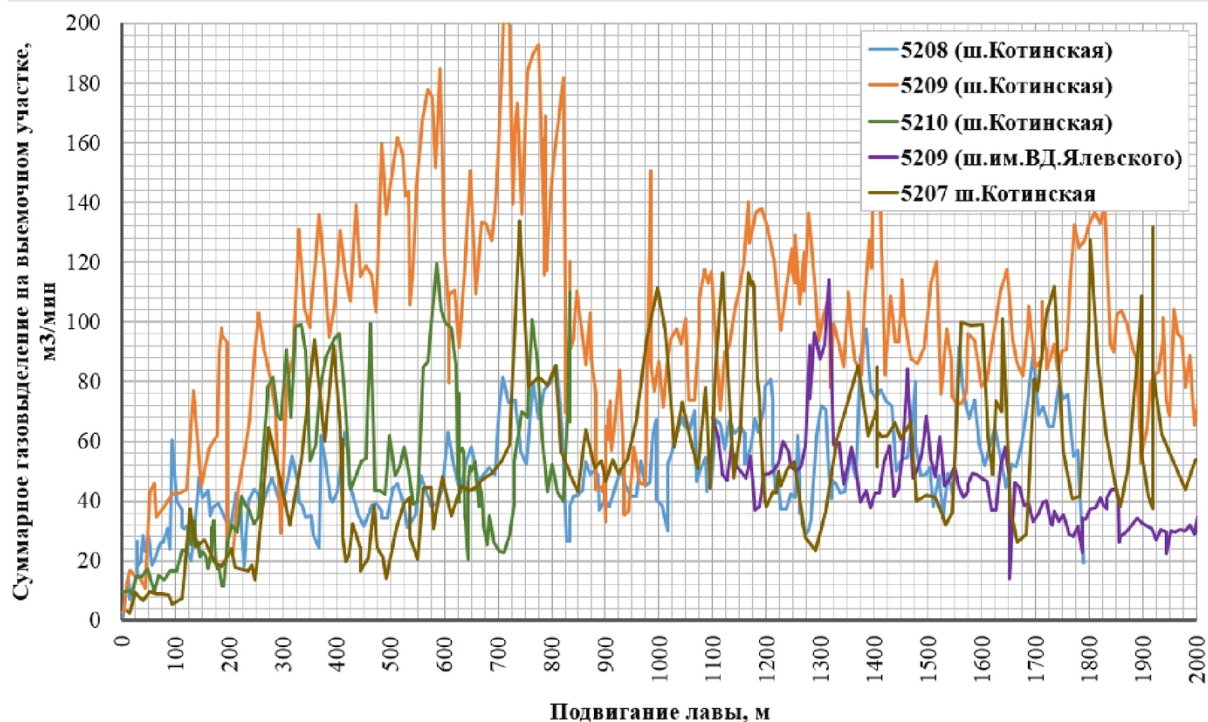


Рисунок 2 - Динамика газовыделения на выемочных участках

Выполненный анализ суммарного газовыделения на выемочных участках в условиях шахты «В.Д.Ялевского» показал выраженную периодичность метановыделения по длине выемочных столбов (рис. 2). Вместе с тем наблюдается изменение периода максимального газовыделения в широком диапазоне от 20 до 50 м, что, по нашему мнению, обуславливается совместным влиянием целого ряда геологических и технологических факторов: высокой изменчивостью литологического состава и прочностных свойств пород кровли, наличием геологических нарушений, а также низкой ритмичностью работы очистного забоя.

Полученные результаты динамики суммарного газовыделения на выемочных участках при интенсивной отработке запасов длинными очистными забоями качественно хорошо согласуются с результатами зарубежных авторов [2, 16].

**Выводы.** Выполненные исследования показали, что обеспечение эффективного прогноза и выбора способов управления газовыделением в горные выработки при отработке свит пологих газоносных пластов длинными очистными забоями с обрушением кровли должно базироваться на учете взаимосвязи геомеханических и газодинамических процессов на выемочных участках. Однако, подобный учет осложняется совместным влиянием большого числа горно-геологических и горнотехнических факторов, определяющих интенсивность газогеохимических процессов. К числу основных горно-геологических факторов следует отнести: природную газонасыщенность разрабатываемого пласта и вмещающих пород (пластов спутников), давление газа в сближенных пластах, глубину ве-

дения горных работ, мощность и свойства пород междупластья, вынимаемую мощность пласта, соотношение мощности непосредственной кровли и вынимаемой мощности пласта, наличие геологических нарушений. Основными горнотехническими факторами являются: длина лавы, скорость подвигания очистного забоя, применяемый способ управления газовыделением в выработки выемочного участка и схема подготовки выемочного участка. Следует отметить, что увеличение параметров выемочных столбов (длины лавы и длины столба) приводит к росту изменчивости деформационно-прочностных характеристик вмещающих пород в их пределах, что обуславливает необходимость дифференциации выемочных столбов по длине при расчете основных параметров газогеохимических процессов. Повышение нагрузок на очистные забои с увеличением скорости их подвигания приводит к увеличению шага обрушения основной кровли и росту неравномерности газовыделения на выемочных участках.

Направление дальнейших исследований будет связано с изучением влияния увеличения длины лавы на газообильность выемочного участка и очистного забоя, и определением целесообразности увеличения длины лавы в различных горно-геологических условиях, поскольку ближайшие перспективы отработки запасов длинными очистными забоями связывают с увеличением длин лав до 400-500 м, а исследования, проведенные зарубежными авторами на отдельных шахтах, показывают существенное влияние длины лавы на газообильность [1, 7, 8]. В качестве основных методов исследований будет использоваться численное

моделирование аэрогазодинамических процессов с использованием апробированных методик [3, 14, 15] и проведение многофакторного регрессионно-

го анализа с использованием ранее использованных подходов других авторов [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Schatzel S.J., Krog R.B., Garcia F., and Marshall J.K. Prediction of longwall methane emissions and the associated consequences of increasing longwall face lengths: a case study in the pittsburgh coalbed. National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh Research Laboratory. Pittsburgh, PA. 2006.
2. Dixon, W.D. A statistical analysis of monitored data for methane prediction. Ph. D. Thesis. University of Nottingham. Dept. of Mining Engineering, May 1992.
3. Dougherty H.N., Karacan C.O. A new methane control and prediction software suite for longwall mines. Computers & Geosciences. 2011. Vol. 37. pp. 1490–1500.
4. Karacan C.O. Modeling and prediction of ventilation methane emissions of U.S. Longwall mines using supervised artificial neural networks. International Journal of Coal Geology. 2008. Vol. 73. pp. 371–387.
5. Krog R.B., Schatzel S.J., Dougherty H.N. Methane emissions and airflow patterns along longwall faces and through bleeder ventilation systems // International Journal of Mining and Mineral Engineering. (International Journal of Mining and Mineral Engineering, 1 January 2014, Vol. 5(4). P. 328-349.
6. Schatzel S.J., Krog R.B., Dougherty H. A field study of us longwall coal mine ventilation and bleeder performance // SME Annual Meeting and Exhibit and CMA 113th National Western Mining Conference 2011, 2011. P. 65-70.
7. Diamond W. P., Garcia F. Prediction of longwall methane emissions: an evaluation of the influence of mining practices on gas emissions and methane control systems. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Report of Investigations 9649. DHHS (NIOSH) Publication No. 99-150. October 1999.
8. Trackemas J.D., Peng S. Factors considered for increasing longwall panel width // Coal age. August 2013. 2013. Vol.118. Is. 8. P.32-42.
9. Schatzel S.J., Krog R.B., Dougherty H.N. Methane emissions and airflow patterns on a longwall face // 2012 SME Annual meeting and exhibit, 2012. P. 72-78.
10. Sidorenko A.A., Gerasimova I.G., Sishchuk, J.M. Estimation of methane emission from a longwall panel // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8, Issue 4. P. 27398-27405.
11. Kazanin O.I., Sidorenko A.A. The best available technologies for horizon mining of flat-lying gaseous coal seams: prospects for development in russian mines // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, Issue1. P. 227-234.
12. Kazanin O.I., Sidorenko A.A. Interaction between gas dynamic and geomechanical processes in coal mines // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Volume12, Issue5, 2017, P. 1458-1462.
13. Fan L., Liu S. A conceptual model to characterize and model compaction behavior and permeability evolution of broken rock mass in coal mine gobs // International Journal of Coal Geology 2017. 172. P. 60-70.
14. Karacan C.O. Forecasting gob gas venthole production performances using intelligent computing methods for optimum methane control in longwall coal mines // International Journal of Coal Geology. 2009. Vol. 79, Is. 4, P. 131-144.
15. Whittles D.N., Lowndes I.S., Kingman S.W., Yates C., Jobling S. Influence of geotechnical factors on gas flow experienced in a UK longwall coal mine panel // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2006. Vol. 43, Is. 3, P. 369-387.
16. Balusu R., Yarlagadda S., Ren T. & Su S. Strategic review of gas management options for reduced GHG emissions // CSIRO earth science & resource engineering, 2010.

Поступило в редакцию 12.10.2017

Received 12.10.2017