

## ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**УДК 622.121.54**

**М.В. Шинкевич, М.С. Плаксин**

### **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ МЕТАНООБИЛЬНОСТЬЮ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

Экономически рациональные скорости развития горных работ постоянно повышаются, что существенно снижает адекватность основанных на предшествующем горном опыте методов и средств оценки ситуаций, обусловленных особенностями физических процессов горного производства при изменяющихся технологических режимах. Основой неадекватности является инерционность совершенствования нормативно-методической базы промышленности. В тоже время, научная основа этого совершенствования неуклонно развивается отечественной и зарубежной наукой. В 90-х годах прошлого века установлены принципиально важные особенности нелинейных геомеханических процессов в зонах влияния горных работ [1-4] и обусловленные ими изменения метастабильных состояний углеметановых геоматериалов [5,6]. На этой основе ИУ СО РАН в 2001 г. выявлена [7] волнообразность метанообильности высокопроизводительных выемочных участков, расширяющая представления о газодинамических следствиях нелинейных геомеханических процессов в массиве газоносных горных пород.

Поскольку динамика метанообильности выемочного участка отражает реакцию вмещающего массива на технологическое воздействие, то, привлекая знания о нелинейности геомеханического процесса при выемке пласта [7], появляется возможность более надежно прогнозировать динамику метанообильности выемочного участка. Оперативное отслеживание которой при движении очистного забоя обеспечивает, решая обратную задачу, уточняет решения по обеспечению ритмичности подвигания. Например, по динамике метанообильности очистного забоя в начальный период отработки выемочного столба, можно [8] оперативно уточнить величину шага первичного обрушения основной кровли, которая является важным технологическим параметром. Для этого рассчитывают газовый потенциал отрабатываемого пласта и осуществляют мониторинг относительного газовыделения по мере отхода лавы от монтажной камеры. Величину первичного шага обрушения основной кровли устанавливают по расстоянию от монтажной камеры до ближайшей к ней точки минимума значений газокинетического показателя, в качестве которого принимают отношение

относительного газовыделения к газовому потенциалу пласта.

$$L_{\text{ш.о.}} = 2l_{\text{м;}} \quad (1)$$

где  $L_{\text{ш.о.}}$  - величина первичного шага обрушения основной кровли, м;  $l$  - расстояние от монтажной камеры до ближайшей к ней точки минимума значений газокинетического показателя, м.

Таким образом, учитывается влияние процесса разгрузки и сдвижения горных пород кровли на газовыделение в призабойное пространство. Способ позволяет с достаточно высокой точностью и оперативно прогнозировать шаг обрушения основной кровли.

Геомеханические процессы влияют и на газокинетические состояния отрабатываемого пласта. Именно перераспределение напряжений, изменения метастабильные состояния углеметана, предопределяют метановыделение через обнаженную поверхности забоя, переток метана из пласта через вмещающие породы в выработанное пространство и остаточную газоносность отбиваемой полосы угля [9].

В работе Малышева Ю.Н., Трубецкого К.Н. и Айруни А.Т. дана эмпирическая функция распада углеметана во времени [6]. Из нее следует, что распад основной части геоматериала происходит за 3 часа. Этот период характеризуется высоким снижением скорости газоистощения.

При современных возможностях добывающих машин движение комбайна с технически возможной скоростью даже на небольшое расстояние нередко вызывает превышение предельно допустимой концентрации метана в исходящей из забоя струе воздуха. Используя установленную зависимость, появляется возможность определять допустимую скорость движения комбайна с учетом скорости подвигания забоя.

Исходя из количества воздуха и предельно допустимой концентрации метана в исходящей струе, допустимое метановыделение из отбитого угля определяется по формуле

$$I_{\text{o.у.д.}} = \frac{100 \cdot I_{\text{пл}} - C_d \cdot I_{\text{пл}} - C_d Q_{\text{исх}}}{C_d - 100}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{пл}}$  – метановыделение с плоскости забоя,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $C_d$  – предельно допустимая концентрация метана

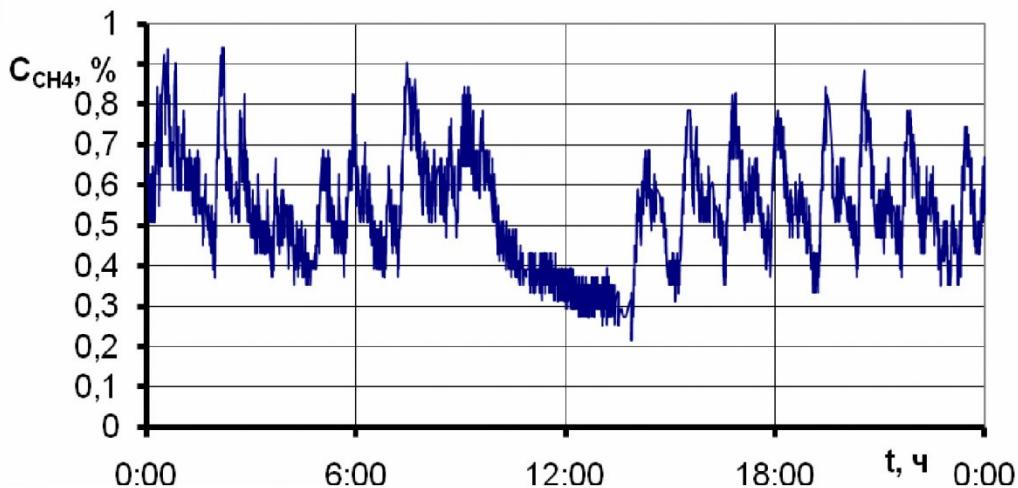


Рис.1. Изменение концентрации метана в течение суток при очистных работах

в исходящей струе участка, %;  $Q_{исх}$  – количество исходящего воздуха из очистного забоя, м<sup>3</sup>/мин.

Зная предельно допустимую, по условию проветривания, скорость выделения метана из отбиваемого и транспортируемого угля в исходящей струе воздуха, возможная скорость движения комбайна определяется как

$$v_{к.д.} = \frac{I_{o.y..д.}}{m_b l_{cm} \rho_y \Gamma_{Δ.o.y.} \cdot (1 - 1,34 C_3 (1 + t_x)^{C_3 - 1})}, \text{ м/мин,} \quad (3)$$

где  $v_{к.д.}$  – допускаемая скорость движения добычного комбайна, м/мин;  $m_b$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $l_{cm}$  – глубина вынимаемой стружки, м;  $\rho_y$  – плотность угля, т/м<sup>3</sup>;  $\Gamma_{Δ.o.y.}$  – газоносность отбиваемой полосы угля за вычетом газоносности угля выдаваемого за пределы выемочно-го участка, м<sup>3</sup>/т;  $t_x$  – время транспортирования угля в пределах выемочного участка, мин;  $C_3$  – коэффициент скорости распада ТУГР [6].

Здесь

$$\Gamma_{Δ.o.y.} = \Gamma_{o.y.} - \Gamma_{ост.техн.}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (4)$$

где  $\Gamma_{o.y.}$  – газоносность пласта в снимаемой стружке, м<sup>3</sup>/т;  $\Gamma_{ост.техн.}$  – остаточная газоносность угля выдаваемого за пределы выемочного участка, м<sup>3</sup>/т определяется по алгоритму, изложенному в [9].

Оперативное управление режимом добычи угля возможно путем использования современных автоматизированных систем аэрогазового контроля. Но необходим переход на качественно новый уровень – прогнозирование газовой обстановки и управление технологическими решениями, как на стадии проектирования, так и ведения горных работ. Только в этом случае можно с достаточной степенью надежности гарантировать ритмичную работу высокопроизводительного забоя. Однако, даже наиболее известные автоматизированные системы с компьютерным оснащением ограничены информационно-контролирующими функция-

ми, т.е. обладают тем же качественным недостатком, что и отечественные системы предшествующего поколения "Метан", АКМР, АПТВ и др. В конце 80-х годов на базе этих систем были разработаны автоматизированные методы прогноза зон повышенной выбросоопасности при проведении подготовительных выработок. Современные электронные системы аэрогазового мониторинга, обладая большими техническими возможностями, позволяют использовать разработанные подходы и при очистных работах. Из рис. 1 видно, что при соответствующей «настройке» системы ее датчики отчетливо отслеживают динамику процесса в периоды циклов работы высокопроизводительного очистного забоя.

Из этих данных следует, что прогноз величины основного показателя газовой опасности метановоздушной среды на выемочном участке методами математической статистики не приемлем. Необходимо привлечение научных знаний генетики физического процесса.

На рис.2 приведены данные системы измерения давления на секции механизированной крепи, пересчитанные на высоту действующего слоя горных пород, позволяющие уточнять информацию о напряженном состоянии призабойной части пласта. Согласно [6,9] изменение этого состояния уточняет газокинетические свойства угля, отбиваемого комбайном и, следовательно, метанообильность очистного забоя и транспортных выработок.

Но даже самые достоверные знания газогеомеханики должны быть адаптированы к конкретным горнотехнологическим условиям, что потенциально может обеспечить современная система рудничного мониторинга, составной частью которой является система аэрогазового контроля. Интеграция представленной на рисунках 1 и 2 информации и является перспективной основой управления метанообильностью очистного забоя (рис.3). Вертикально расположенные группы точек фактических данных, стремящиеся к минимуму

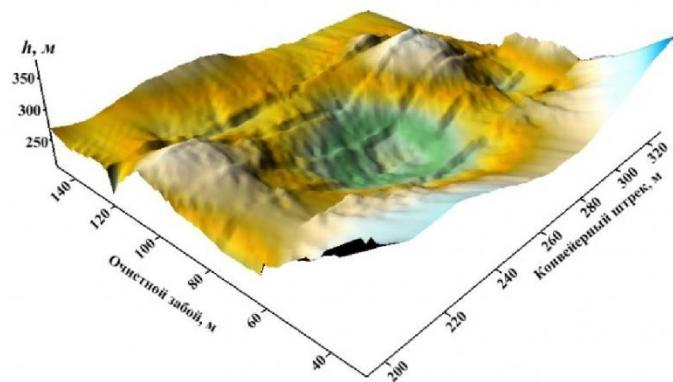


Рис. 2. Волнообразные изменения давления на секции механизированной крепи при движении очистного забоя

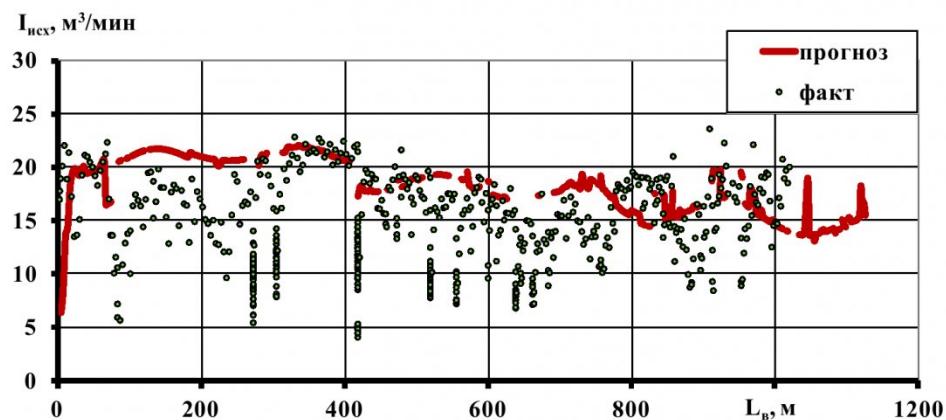


Рис.3. Фактические и прогнозные данные о динамике метанообильности исходящей струи очистного забоя  $I_{mch}$ ,  $m^3/t$  по длине выемочного столба  $L_v$ , м

му на рисунке 3, обусловлены остановками забоя.

Однако, для этого необходимы существенные совершенствования программного обеспечения всех электронных систем рудничного мониторинга с целью их перевода на качественно новый уровень - от контроля к прогнозу ситуаций при планируемых технологических параметрах и режимах работы забоев.

Прежде всего, это относится к системе аэрогазового контроля, регистрирующей наиболее динамичную часть физического процесса [10]. На рис.4 приведены типичные данные одного из датчиков этой системы. Видим, что периодичность съема показаний, ориентированная на рост квантования с ростом концентрации метана, зависящей и от других факторов, настолько затрудняет анализ динамики метанообильности, что он выходит за рамки профессиональной доступности работников промышленности.

На рис. 5 и 6 приведены не редко регистрируемые данные о системном снижении концентрации метана в подготовительных выработках по показаниям датчиков, установленных на различном расстоянии от забоя.

На рис. 6 отображено изменение концентрации метана в атмосфере выработки по причине значительного изменения скорости вентиляционной струи (рис. 7).

При создании алгоритмов для автоматизированной оценки состояния приконтурной части пласта, рассмотрение отмеченных участков как информативных является, по сути, системной ошибкой. Основные причины получения несоответствующих действительности данных следующие: неверная настройка и расположение датчиков контроля, потеря связи с сервером, проблема с электропитанием, перенос датчиков, ремонтные операции с системой контроля, нестабильность системы проветривания, отсутствие датчиков скорости воздуха в местах размещения датчиков контроля метана.

Современная система контроля снимает данные в зависимости от интенсивности изменения значений концентраций, т.е. чем выше скорость изменений, тем больше значений сохранит в памяти система. Сделано это с одной стороны, чтобы не загромождать сервер чрезмерными массивами данных, а с другой, для повышения реакции

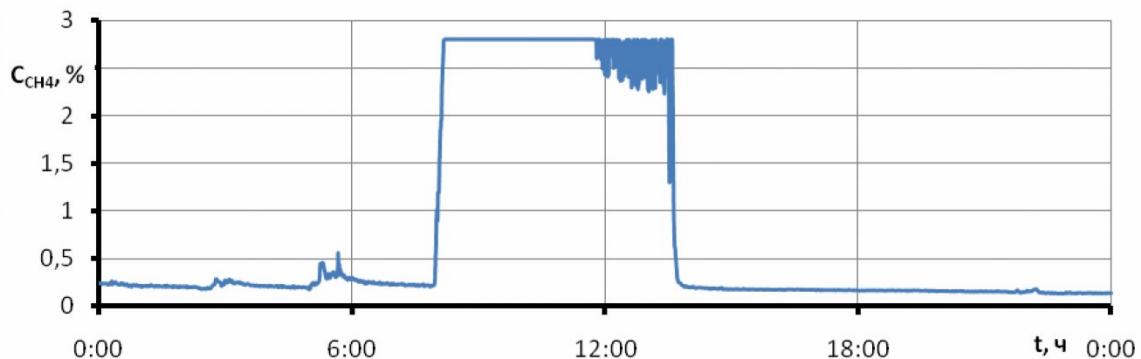


Рис. 4. Изменение концентрации метана по показаниям забойного датчика (2199 значений)

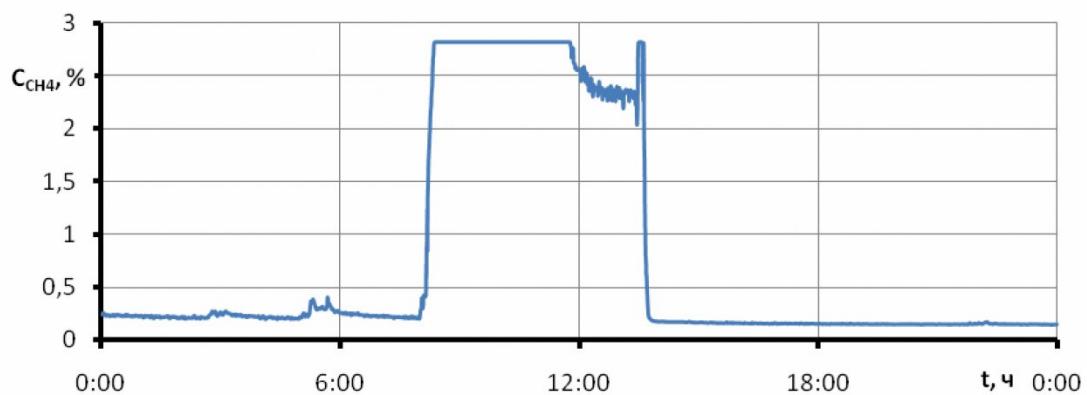


Рис. 5. Изменение концентрации метана в 20 м. от забоя (1594 знач.)

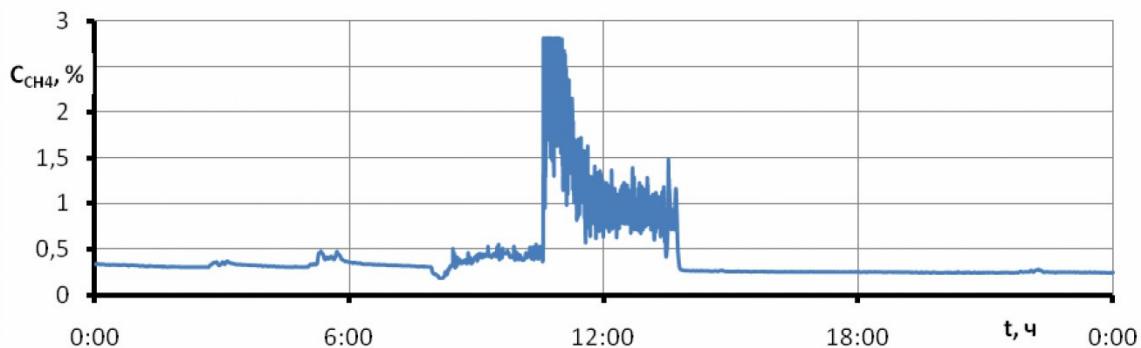


Рис. 6. Изменение концентрации метана на исходящей (4058 знач.)

на “опасные” концентрации метана в атмосфере выработки.

В результате интервал в несколько минут, с интенсивным изменением концентрации метана, может существенно искажить средние значения в контрольный период. Для устранения этих недостатков достаточно лишь небольшого совершенствования соответствующих компьютерных программ и повышения технологической дисциплины.

Таким образом, качественный контроль и текущий прогноз газогеомеханических процессов,

включая метанообильность выемочного участка, являющиеся основой оперативного управления аэrogазовой обстановкой в горных выработках, могут быть реализованы только при совместной напряженной работе отраслей промышленности и науки. Необходимый для инвестиций научный базис имеется.

*Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 99, партнерского интеграционного проекта СО РАН № 100.*

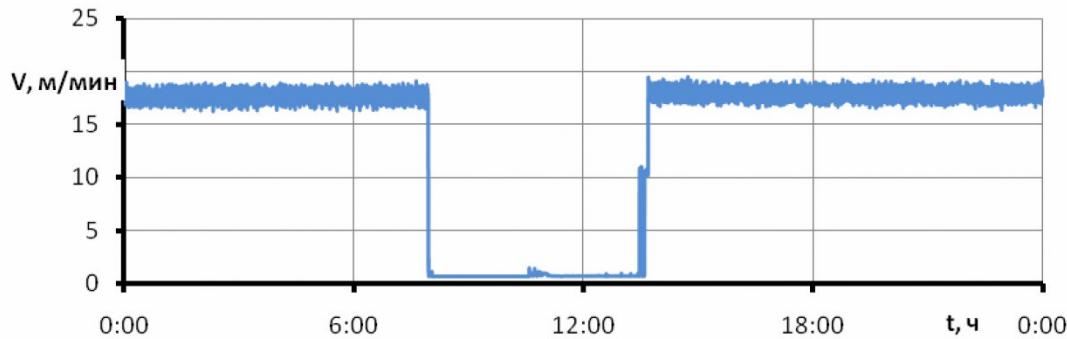


Рис. 7. Скорость вентиляционной струи (51352 знач.)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ройтер, М. Волнообразное распределение горного давления вдоль забоя лавы./ М. Ройтер, В. Курфиост, К. Майрховер, Ю. Векслер // ФТПРПИ. – 2009, №2. – С. 38-44.
2. Якоби, О. Практика управлении горным давлением. Пер. с нем. / О. Якоби. – М. :Недра, 1987. – 566 с.
3. Опарин, В. Н. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок / В.Н. Опарин, А.П. Тапсиев, М.А. Розенбаум, В.Н. Рева, Б.П. Батдиев, Э.А. Троп, А.И. Чанышев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. –2008. –278 с.
4. Полевщикова, Г.Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах / Г.Я. Полевщикова // ФТПРПИ. – Новосибирск. – 2013. – № 5. – С. 50-60.
5. Эттингер, И.Л. Метанонасыщенный угольный пласт как твердый метаноугольный раствор / И.Л. Эттингер // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1990. – № 2. – С. 66–72.
6. Малышев, Ю.Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т Айруни - М.:ИАГН, 2000. – 516 с.
7. Полевщикова, Г.Я. Газокинетический паттерн разрабатываемого массива горных пород / Полевщикова Г.Я., Козырева Е.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2002. - №11. -С. 117-120.
8. Пат. №2246006 РФ, 7Е21F7/00. Способ управления кровлей в лавах при разработке газоносных пластов угля / Г.Я. Полевщикова, Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич. 2003117829; Заявлено 16.06.2003; Опубл. 10.02.2005, Бюл. № 4; Приоритет 16.06.2003.
9. Полевщикова, Г.Я. Влияние процессов разгрузки и сдвигов вмещающих пород на выделение метана из разрабатываемого пласта / Г.Я. Полевщикова, М.В. Шинкевич, Е.Н.Козырева, О.В. Брюзгина // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2008, № 2.- С.139-143
10. Полевщикова, Г.Я. Газогеомеханические процессы при проведении подготовительных выработок / Г.Я. Полевщикова, М.С. Плаксин // Вестник Научного центра по безопасности работ у угольной промышленности. – Кемерово, 2010. – С.36-45.

### Авторы статьи

Шинкевич Максим Валерьевич канд. техн.наук, научный сотрудник лаборатории Института угля СО РАН, доц. каф. АОТП КузГТУ, E-mail: <a href="mailto:gas_coal@icc.kemsc.ru">gas_coal@icc.kemsc.ru</a>	Плаксин Максим Сергеевич канд техн. наук, научный сотрудник ла- боратории Института угля СО РАН E-mail: <a href="mailto:gas_coal@icc.kemsc.ru">gas_coal@icc.kemsc.ru</a>
---	--