

ства метана в газовой фазе при разложении газогидрата в угольных порах и уменьшение газообразного метана при гидратообразовании. Исходя из уравнения Аррениуса, рассчитана энергия активации данных процессов, что представляет интерес с позиций физико-химических особенностей

фазовых переходов, происходящих в угольной матрице.

Авторы благодарят чл.-корр. РАН д.х.н. Захарова Ю.А. за полезные советы и обсуждение настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т.* Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов / М.: из-во АГН 2000. 519с.
2. *Alexeev A.D., Vasylchenko T.A., Ul'yanova E.V.* Phase states of methane in fossil coals // Solid state communications. 2004. Vol. 130. N 10. p.669-673.
3. *Истомин В.А., Якушев В.С.* Газовые гидраты в природных условиях / М.: Недра. 1992. 236с.
4. *Смирнов В.Г. Дырдин В.В., Манаков А.Ю., Ким Т.Л., Шепелева С.А.* Исследование форм связи метана с угольной матрицей для совершенствования методик прогноза выбросоопасности. // Известия ВУЗов. Горный журнал. 2014г - №1 с.128-135
5. *Стромберг А.Г. Семченко Д.П.* Физическая химия. Учебник для химических специальностей вузов 5-ое изд. / М.: Высш. Школа. 2003г 527с.
6. *Dimo Kashchieva, Abbas Firoozabadi*, Nucleation of gas hydrates // Journal of Crystal Growth 243 (2002) p. 476–489
7. *Dimo Kashchieva, Abbas Firoozabadi*, Induction time in crystallization of gas hydrates // Journal of Crystal Growth 250 (2003) p. 499–515
8. *Claudio P. Ribeiro Jr., Paulo L.C. Lage*, Modelling of hydrate formation kinetics: State-of-the-art and future direction // Chemical Engineering Science 63 (2008) p. 2007 – 2034
9. *Matthew Clarke and P. Raj Bishnoi*, Determination of the Activation Energy and Intrinsic Rate Constant of Methane Gas Hydrate Decomposition // The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume 79, February 2001, p.143-147

□ Авторы статьи:

Смирнов
Вячеслав Геннадьевич,
ст. препод., каф. физики КузГТУ
Email:smirnovvg@mail.ru.

Манаков
Андрей Юрьевич,
д.х.н. (Институт неорганической
химии СОРАН)..
Email:manakov@niic.nsc.ru.

Дырдин
Валерий Васильевич,
д.т.н., проф. каф. физики КузГТУ.
Email:vvd1941@mail.ru

УДК 622.454.3:622.831.3

Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич

УТОЧНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ И УПРАВЛЕНИИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ

Современный выемочный участок угольной шахты характеризуется значительными геометрическими размерами, возросшей глубиной ведения горных работ, большими объемами добычи угля, высокими скоростями подвигания очистного забоя. Но, соответственно, и возрастают проблемы, связанные с негативными следствиями повышенного газовыделения и с процессами сдвигений массива горных пород. Для снижения их негативного влияния необходимо еще на стадии проектирования учитывать закономерности процессов во вмещающем массиве.

Техническое перевооружение шахт обеспечивает возможность добычи угля до 30 тыс. тонн в сутки из одного очистного забоя, но обостряет проблему метанобезопасности шахт. В связи с чем,

технические возможности снижаются во много раз. При применении комбинированной схемы проветривания выемочных участков ограничивающим производительность фактором является выделение метана из отрабатываемого пласта и транспортируемого угля. Достаточно надежный прогноз характеристик этого источника газа при проектировании участков в настоящее время выполняется методом «лава-аналог». Но значительно возросшие размеры выемочных столбов и темпы развития горных работ затрудняют адекватный выбор аналогов, а нормативные зависимости для адаптации моделей прогноза по геологоразведочным данным, отражая опыт предшествующих десятилетий, неточны в новых технологических условиях.

В тоже время, научная основа совершенствования нормативно-методической базы промышленности неуклонно развивается. Еще в начале 2000-х годов, анализ данных непрерывно действующих электронных систем мониторинга рудничной атмосферы, выполненный в ИУ СО РАН, позволил выявить ярко выраженную динамику газопритоков при ведении горных работ, названную газокинетический паттерн выемочного участка [1, 2] – периодическое изменение метанообильности по мере отработки выемочного столба, приведенной к скорости подвигания забоя 1 м/сут. Установлены принципиально важные особенности нелинейных геомеханических процессов в зонах влияния горных работ [3, 4] и обусловленные ими изменения метастабильных состояний углеметановых геоматериалов [5, 6], установлена и доказана деформационно-волновая природа реакции массива на изменение внешних условий [6]. Дальнейшие исследования, в том числе с участием авторов статьи, по более 20-ти высокопроизводительным выемочным участкам шахт Кузбасса, позволили выявить волнобразность процессов метановыделения, расширяющую представления о следствиях нелинейных геомеханических процессов в углегазоносном массиве. Обоснована и развита полуэмпирическая модель развития нелинейных газогеомеханических процессов в массиве горных пород при подземной разработке угольных пластов длинными столбами по простирианию [7]. Разработанная модель обобщает особенности формирования зональной дезинтеграции массива впереди очистного забоя (радиальная разгрузка) и иерархии «геомеханических слоев» в выработанном пространстве (вертикальная разгрузка) (рис.1) [8]. Эта модель является физической основой газокинетического паттерна.

Процессы в выработанном пространстве.

Горный блок представлен в виде совокупности «геомеханических слоев». Динамика выделения газа (газокинетический паттерн) из источников в каждом «геомеханическом слое» по периодичности изменений соответствует геомеханическому паттерну, а доля реализации его газового потенциала на выемочный участок (амплитуда) при скорости подвигания забоя 1 м/сут обратно пропорциональна удаленности залегания от отрабатываемого пласта. Расчетный график газопритока из отдельного слоя имеет вид периодических импульсов, которые сглаживаются под влиянием разгрузки в слое следующего уровня иерархии. Сопоставлением фактических и расчетных данных установлено, что повышение скорости подвигания забоя снижает долю реализации газового потенциала массива по экспоненциальному закону. Реализация газовых потенциалов источников протекает в виде иерархии вложенных сводов, параметры которых по амплитуде кратны квадратному корню из 2, а по периодичности 2. При построении вложенных сводов их количество ориентируется на протяженность минимального из них, равного шагу первичного обрушения основной кровли.

Рассмотрим возможность оценки техногенных параметров «геомеханических слоев» с позиций накопленной ими упругой энергии. В принятой модели основой развития контуров сводов является не вес пород, а их удельная упругая энергия. Соответственно, причиной разрушения (дезинтеграции) является избыток упругой энергии в определенном слое массива при смене метастабильных состояний. Снижение энергетического потенциала обеспечивается отторжением соответствующей массы пород в виде сводов параболоидной формы [9].

Мощность слоя первичного обрушения опре-

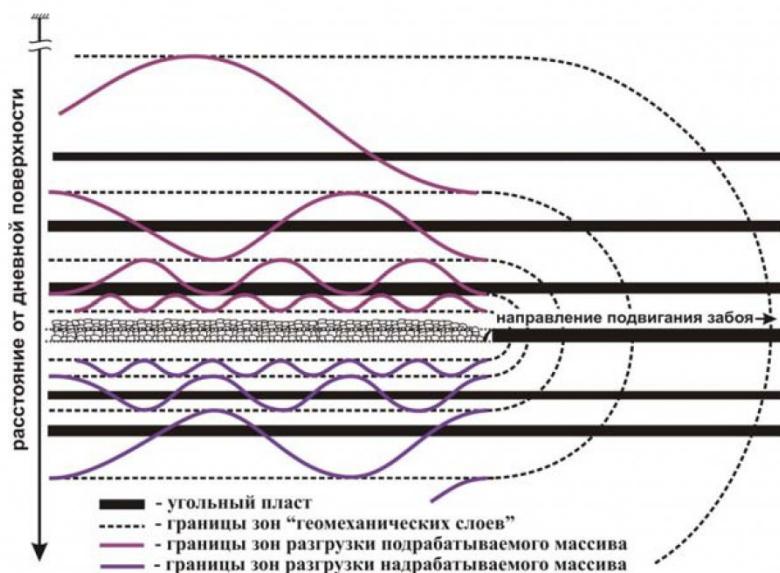


Рис.1. Геомеханическая схема формирования и развития зональной дезинтеграции массива горных пород при отработке выемочного столба (геомеханический паттерн)

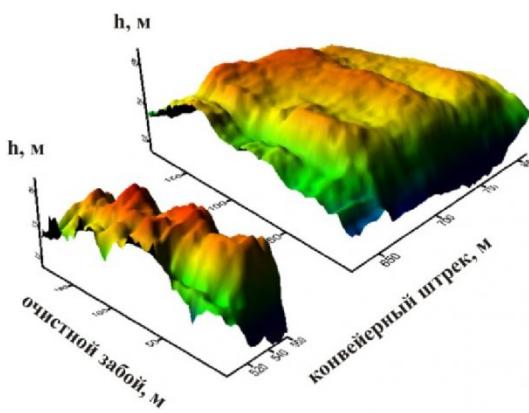


Рис.3. Своды давления на секции механизированной крепи при отработке пласта с труднообрушаемой кровлей (шахта «Алардинская»)

деляется как

$$h_0 = 0,5l_0 \operatorname{tg} \psi, \text{ м},$$

где l_0 – первичный шаг обрушения основной кровли, м; ψ – угол полных сдвигов, град.

При мощности «геомеханических слоев» большей h_0 , необходимо учитывать нелинейность изменений упругой энергии с глубиной залеганий. Поскольку для условий вертикальной разгрузки модель предусматривает $\mathcal{E}_n = 2\mathcal{E}_{n-1}$, МПа, где \mathcal{E} – упругая энергия в «геомеханических слоях» соответствующих уровняй иерархии n , то имеем

$$h_n = H_p - 3\sqrt{H_p^3 - 6\frac{E_n \Phi^{2n} \mathcal{E}_0}{k^2 S_n}}, \text{ м},$$

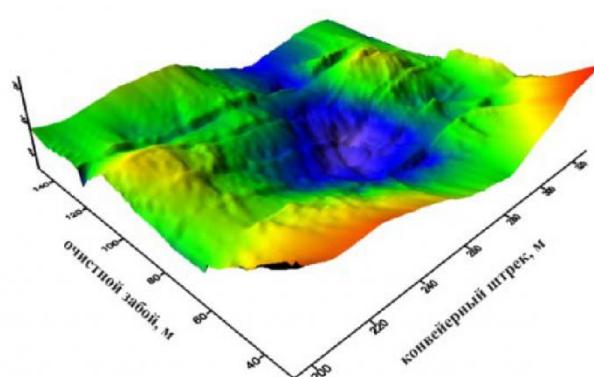


Рис.4. Своды давления на секции механизированной крепи при отработке пласта с кровлей средней обрушаемости (шахта «Чертинская-Коксая»)

где h_n – мощность рассматриваемого «геомеханического слоя», м; H_p – глубина залегания отрабатываемого пласта, м; E_n – средневзвешенный модуль упругости пород в рассматриваемом слое, МПа; \mathcal{E}_0 – упругая энергия слоя, мощностью h_0 , МПа; $k = 0,025$ – коэффициент плотности пород, МПа/м; S_n – площадь основания прямоугольного выреза для рассматриваемого слоя, м^2 . Мощности вложенных слоев определяются фрактальной размерностью $\Phi = \sqrt{2}$ потенциалов их упругой энергии.

Из сравнения иерархии сводов и периодичности их формирования без учета упругой энергии со сводами, построенными с поправками на изменение энергетического потенциала геосреды в

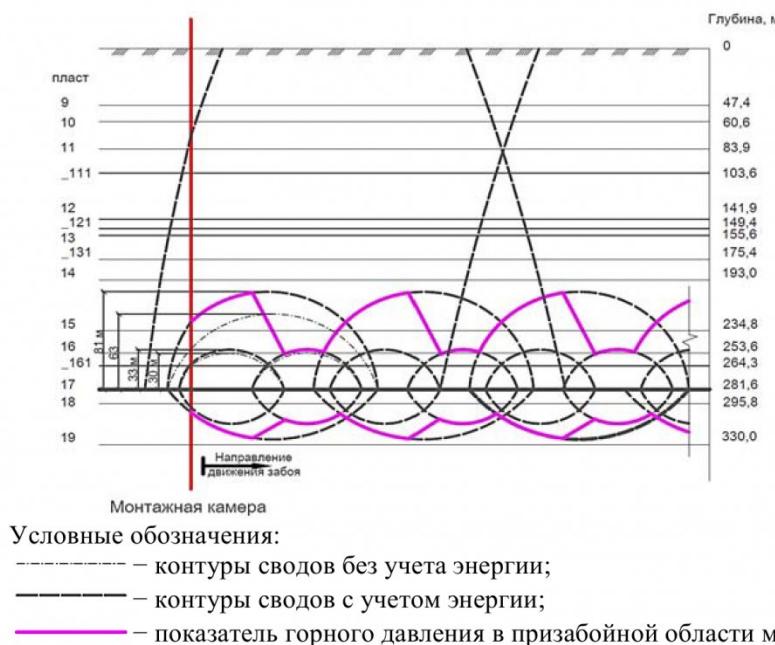


Рис.2. Вертикальная схема развития геомеханического процесса в подрабатываемом и надрабатываемом массивах при отработке выемочного участка на Ленинском месторождении Кузбасса

зависимости от роста глубины горных работ, видна значимость уточнений параметров геомеханического процесса (рис.2). Рассмотрен выемочный участок на «Шахте им. С.М. Кирова» Ленинского месторождения Кузбасса. Глубина залегания пласта изменяется от 250 до 150 м, мощность пласта – 2,3 м, его газоносность – 12 м³/т, длина очистного забоя – 240 м, скорость подвигания очистного забоя в пределах 10-12 м/сут.

Нелинейность изменений упругой энергии в подрабатываемом массиве для рассматриваемого выемочного участка приводит к увеличению высот сводов. Аналогичные процессы происходят и в надрабатываемом массиве, но нелинейность изменений упругой энергии пород здесь приводит к снижению высоты сводов.

Отрабатываемый пласт.

Ярким подтверждением волнообразности изменений горного давления при движении очистного забоя стали горно-экспериментальные наблюдения за давлением жидкости в стойках механизированной крепи при отработке лавы 3-32 на шахте «Алардинская» (рис. 3). Глубина горных работ – 650 м, вынимаемая мощность пласта – 4,5 м, газоносность – 25 м³/т, кровля труднообрушаемая, длина очистного забоя – 200 м, скорость подвигания около 3 м/сут, шаг вторичного обрушения основной кровли около 24 м. А также данные измерений по горно-экспериментальному участку на шахте «Чертинская-Коксовая» при отработке лавы 351 (рис.4). Глубина горных работ – 340 м, вынимаемая мощность пласта – 2,8 м, газоносность – 20 м³/т, кровля средней обрушаемости, длина очистного забоя – 180 м, скорость подвигания около 1,5 м/сут, шаг вторичного обрушения основной кровли около 5 м. Количественная оценка результатов выявила периодичность изменения давления, кратную длине очистного забоя [9].

Установленные особенности предопределяют, согласно [5, 10], изменения газокинетических характеристик пласта впереди движущегося забоя и, как следствие, динамику притока метана в него. Используя классические представления гипотезы о сводах естественного равновесия, можно количественно учитывать эти особенности, дополнив

расчеты зависимостью газосодержания пласта от вертикальных напряжений.

Существенные изменения по длине выемочного столба газового потенциала массива и природной газоносности пласта предопределяют неравномерность допускаемых значений среднесуточной производительности участка и рабочей скорости комбайна. Одним из способов их повышения является предварительная дегазация пласта. Изложенный подход к расчёту метановыделения позволяет определять коэффициент дегазации, необходимый для поддержания заданной производительности забоя, тем самым видеть целесообразность совершенствования ее технологий. Результаты расчетов, выполненные для условий отработки лавы на шахте «Алардинская», представлены на рис. 5 и 6.

Заключение.

Выполненные исследования содержат новые научные результаты, перспективные для решения горнотехнологических задач Кузбасса. Знание и прогнозирование геомеханической обстановки, параметров процесса сдвижений, вызываемого отработкой угольного пласта, необходимо учитывать на стадии проектирования выемочного участка. Так при проектировании таких элементов как промежуточные печи и демонтажная камера, при выборе мест остановки комплексов на профилактические работы необходимо выбирать их расположение по длине столба в местах с наименьшим воздействием горного давления. Необходимо принимать во внимание вложенность сводов при определении длины лавы с учетом угла полных сдвигов для конкретных условий, так как несоблюдение вложенности может вызвать зависание пород кровли и повышенное давление на крепь лавы. Кроме того, полученные результаты создают основу для прогноза динамики метанообильности высокопроизводительных выемочных участков, обоснования и конкретизации способов, параметров и средств комплексного способа управления газовыделением с оптимизацией системы дегазации, включая определение количества и места заложения дегазационных скважин, установление технологически необходимых объемов

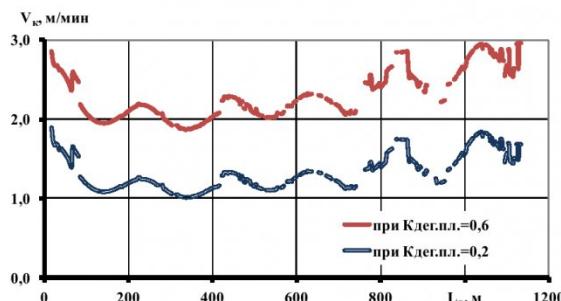


Рис.5. Максимально допускаемая рабочая скорость комбайна при фактической производительности участка и коэффициентах дегазации пласта $K_{deg.pl.}=0,2$ и $0,6$

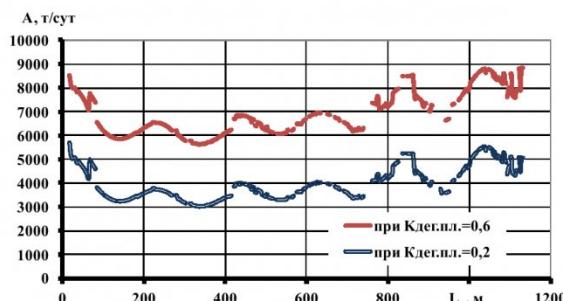


Рис.6. Возможная производительность очистного забоя при допускаемой скорости комбайна и коэффициентах дегазации пласта $K_{deg.pl.}=0,2$ и $0,6$

каптажа метана с целью нормализации газовой обстановки на выемочном участке.

Совокупность полученных результатов обеспечивает расчет основных параметров аэрогазодинамических процессов на выемочном участке, отладку и прогнозирование динамики в условиях существенной изменчивости свойств и состояний пластов при динамичных режимах подвигания высокопроизводительных забоев. Адаптация подхода к конкретным горно-технологическим условиям позволяет повысить эффективность инженерных решений по управлению газовыделением:

- на стадии проектирования устанавливать безопасный по газовому фактору режим работы

выемочного участка в сложных горно-геологических условиях;

- уточнять, по оперативным данным системы аэрогазового контроля, план добычи угля на сутки, декаду и месяц для повышения средней по выемочному столбу производительности очистного забоя;

- обосновывать необходимость инвестиций в разработку технологий высокоэффективной дегазации неразгруженных от горного давления угольных пластов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Полевицков, Г.Я. Влияние сдвигений прочных вмещающих пород на динамику метанообильности выемочного участка / Г.Я Полевицков, Н.Ю. Назаров / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 5. – С. 121–127.
2. Полевицков, Г.Я. Газокинетический паттерн разрабатываемого массива горных пород / Г.Я. Полевицков, Е.Н. Козырева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 11. – С. 117–120.
3. Ройтер, М. Волнообразное распределение горного давления вдоль забоя лавы / М. Ройтер, В. Курфюст, К. Майрховер, Ю. Векслер. // ФТПРПИ. – 2009. – № 2. – С. 38–44.
4. 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.
5. Малышев, Ю.Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни // М.: ИАГН. – 2000. – 516 с.
6. Открытие № 400. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Шемякин Е.И., Курленя М.В., Опарин Н.В., Рева В.Н., Глушихин Ф.П., Розенбаум М.А // БИ. – 1992. – № 1. – 3 с.
7. Полевицков, Г.Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах / Г.Я. Полевицков // ФТПРПИ. – 2013. – № 5. – С. 50–60.
8. Козырева, Е.Н. Газокинетические следствия нелинейных геомеханических процессов в массиве горных пород на шахтах Кузбасса / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Р.И. Родин // 2-ая Российско-Китайская научная конференция «Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах» Сборник трудов. – Новосибирск: ИГД СО РАН. – 2012. – С. 267–272.
9. Полевицков, Г.Я. Фрактальная особенность структуризации массива горных пород в изменениях давления на призабойную часть отрабатываемого длинным очистным забоем угольного пласта / Г.Я. Полевицков, М.В. Шинкевич, А.В. Радченко, Е.В. Леонтьева, А.А. Черепов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Научно-технический журнал. – Кемерово. – 2013. – № 1. – С. 16–23.
10. Козырева, Е.Н. Газокинетические следствия разгрузки углеметановых пластов от горного давления / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр земли: V Международная конференция. – Екатеринбург. – 2009. – С. 164–166.

Авторы статьи:

Козырева
Елена Николаевна
канд.техн. наук, ведущий
научный сотрудник лаборатории
газодинамики угольных месторож-
дений Института угля СО РАН,
E-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru.

Шинкевич
Максим Валериевич
канд.техн. наук, старший
научный сотрудник лаборатории
газодинамики угольных месторож-
дений Института угля СО РАН,
доцент каф. АОТП КузГТУ ,
E-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru.