НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 622.831.322

ЗАВИСИМОСТЬ ВИДА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ ОТ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАССИВА С УЧЕТОМ ГАЗОГИДРАТОВ

A CERTAIN TYPE OF GAS-DYNAMIC PHENOMENA DEPENDING ON THE POROSITY OF COAL SEAMS IN THE DECOMPOSITION OF GAS HYDRATES

Ким Татьяна Леонидовна,
канд.техн. наук, e-mail: tanyakim@list.ru,
Kim Tatyana L., C.Sc. (Engineering)
Дырдин Валерий Васильевич,
доктор техн. наук, профессор, e-mail: vvd1941@live.ru
Dyrdyn Valeriy V. , Dr.Sc. (Engineering), professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: *Статья посвящена определению вида газодинамических явлений при возможной диссоциации газогидратов с учетом проницаемости угольного массива. Установлена закономерность распределения газового давления в краевой зоне угольного пласта после диссоциации газогидратов в зависимости от гидратонасыщенности и с учетом изменяющегося коэффициента проницаемости краевой зоны угольного пласта. Установлено, что вид газодинамического явления при наличии газогидратов в поровом пространстве каменных углей зависит от критического значения проницаемости краевой зоны.*

Abstract: *The publication is devoted creation of a method of the forecast gas-dynamic phenomena occurring under the influence of gas hydrates in coal seams with application of a method of mathematical modelling. For the first time the minimum humidity at which formation of gas hydrates in coal seams is is possible is found. During work there was a definition of speed of a dissociation of hydrates of gas depending on a size of corpuscles by a method of mathematical modelling. Also conformity is found between velocity of move of boundary line of a dissociation of gas hydrates in space of pores of coal and velocity of extending of a wave of crushing. The interconnection of allocation of gas pressure in a band of edge of a layer of coal after a dissociation of gas hydrate depending on its saturation capacity and taking into account a changing coefficient of permeability is spotted. Including it has been spotted that the kind gas-dynamic processes in the presence of gas hydrates in space of pores of coals depends on critical value of permeability in a band of edge of a coal seam.*

Ключевые слова: *Газодинамические явления, скорость диссоциации, газогидраты, коэффициент проницаемости, внезапный выброс.*

Keywords: *gas-dynamic phenomena, the rate of dissociation, gas hydrates, the permeability coefficient, sudden emission.*

Экспериментально установлено [1], что при определенных термодинамических условиях (температура и давление) и влажности в поровом пространстве угольных пластов могут образовываться газогидраты метана. В силу малых размеров газогидратных частиц скорость их разложения достаточна высока и при 4 нм может составлять 28 мкм/с. Разложение газогидратных частиц происходит в случае, если давление в системе газмассив при определенной температуре может скачком уменьшиться до значений меньших равновесных. В таких случаях на участке разложения газовое давление может скачком увеличиться. С этой целью, используя методы численного и математического моделирования, рассчитаем возможное приращение давления газа впереди забоя подготовительной выработки с учетом гидратонасыщенности угольного пласта и коэффициента проницаемости. Для этого воспользуемся дифференциальным уравнением Буссинеска для одномерного изотермического течения, полученного Л. С. Лейбензоном [2]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{k}{2m\mu_{\Gamma}} \cdot \frac{\partial^2 p^{\,2}}{\partial x^2}, \qquad (1)$$

где m – коэффициент пористости среды; p – давление газа; μ_{Γ} – динамическая вязкость газа;

k – коэффициент проницаемости.

При решении задачи принято, что в точке максимума зоны опорного давления имеем минимум проницаемости массива. За зоной влияния выработки коэффициент проницаемости принимает постоянное значение k_∞. Другие граничные условия для коэффициента проницаемости: а) проницаемость на забое выработки $k(x)\big|_{x=0} = k_0$, т. е. начало оси x совпадает с забоем выработки, а $x > 0$ – в глубину массива;

б) $k_3(x)\big|_{x=\xi} = k_4(x)\big|_{x=\xi} = k$, где $x = \xi$ - расстояние от забоя выработки до начала зоны, где происходит диссоциация газогидратов, т. е. принято, что диссоциация газогидратов начинается на границе зон ξ неупругих (x_3)и упругих деформаций (x_4).

В такой постановке данная задача является автомодельной, и для ее решения используем явные разностные схемы и математический пакет Maple14, то есть вместо производных в дифференциальном уравнении будем использовать их конечноразностные аппроксимации. Аппроксимируя частные производные уравнения (1) конечными разностями, получаем систему линейных алгебраических уравнений для определения давления.

Предварительно определим число молей газа v, содержащегося в гидратном состоянии в угольном пласте [3]:

$$\nu = \frac{V_{угля}(1-\varepsilon)\rho_{гидрата}}{\mu_{воды} n}\beta,$$

где $\beta = \dfrac{W}{1-\varepsilon}\dfrac{\rho_w}{\rho_h}$ – гидратонасыщенность; плотность воды ρ_w = 1000 кг/м^3; ε=0.126 – природная масса газа в единице массы газогидрата; плотность гидрата природного газа ρ_h = 883 кг/м^3; W – природная влажность угля; $\mu_{воды}$ – молярная масса воды; n – число молекул воды, приходящихся на одну молекулу газа в элементарной ячейке газогидрата формы КС-I.

В качестве примера рассчитаем распределение давления газа после диссоциации газогидратов для условий пласта Владимировский шахты «Северная». Результаты расчета приведены на рис.1.

Дополнительный объем свободного газа зависит от протяженности зоны, содержащей газогидраты и гидратонасыщенности. Как следует из полученных результатов, добавочное давление газа в зоне разложения газогидратов увеличивается в 2-2.5 раза, что влияет на увеличение газового давления впереди забоя подготовительной выработки и может приводить к внезапным выбросам угля и газа и внезапным газовыделениям.

Для определения вида ГДЯ (внезапный выброс или загазирование) рассчитаем коэффициент выбросоопасности пласта R^n по методике профессора В. И. Мурашёва [4-6] в зависимости от коэффициента проницаемости массива с учётом прироста давления вследствие диссоциации газогидратов метана, а по точке перехода кривой через ноль определим критическое значение проницаемости $k_{кр}$ для данного пласта, которое и позволит разграничить области, опасные по внезапным выбросам и возможному загазированию выработок.

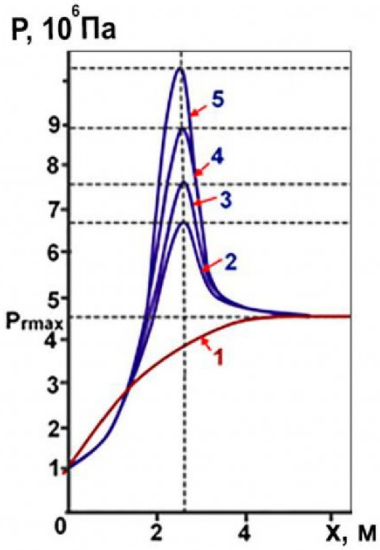

Рис. 1. Распределение давления газа p после начала диссоциации газовых гидратов и изменяющейся проницаемости краевой зоны угольного пласта: 1 – исходное распределение газового давления; 2 – при гидратонасыщенности 1.9%; 3 – при гидратонасыщенности 2.6 %; 4 – при гидратонасыщенности 3.9 %; 5 – при гидратонасыщенности 5.2 %, $p_{\max}$ – давление газа за зоной влияния выработки

Зависимость $R^n = f(r)$, построенная для условий Кузбасса, представлена на рис. 2.

Для практического использования полученных результатов для разграничения участков угольного пласта, опасных по внезапным выбросам угля и газа, и загазированию выработок нами предлагается следующая методика.

Впереди забоя подготовительных выработок не образуется значительных концентраций напряжений, поэтому примем экспоненциальный закон уменьшения проницаемости угольного пласта вглубь массива:

$$k(x) = k_0 e^{-b\cdot\sigma(x)}, \qquad (2)$$

где k_0 – коэффициент газопроницаемости угля в состоянии полной разгрузки, м^2 (определяется в лабораторных условиях по В. В. Ходоту); b – некоторая постоянная, зависящая от компрессионных свойств угольного пласта; $\sigma(x)$ – напряжения в рассматриваемой точке.

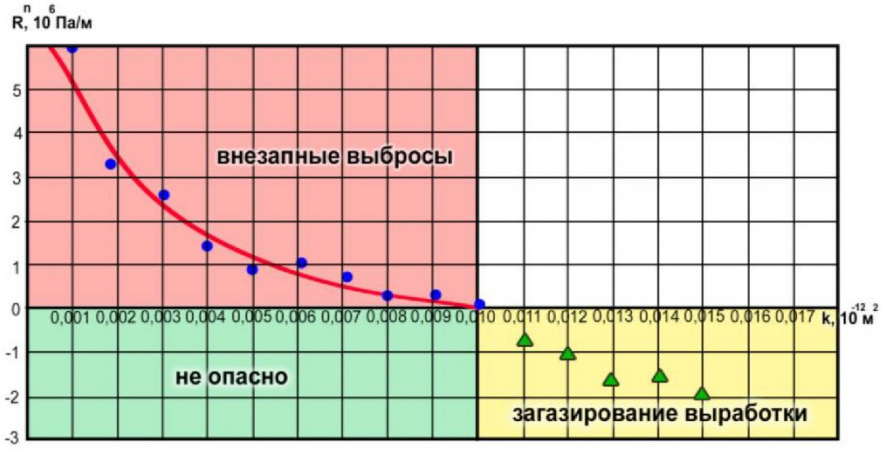

Рис. 2. Зависимость вида ГДЯ от проницаемости массива на границе раздела упругих и неупругих деформаций.

Зная k_0 и $\sigma(x)$, по формуле (2) рассчитаем проницаемость в любой точке впереди забоя подготовительной выработки, в том числе и на границе зон упругих и неупругих деформаций. Напряжения на забое и в максимуме опрного давления определим по известной методике ВНИМИ [7,8]. Закон изменения напряжений в массиве от забоя до максимума примем линейным. Расстояние от забоя до зоны упругих деформаций определим одним из геофизических методов, например, методом скважинной электрометрии по точке перегиба экспериментальной кривой. Приведенная методика позволит определить значения проницаемости угольного пласта на границе раздела неупругих и упругих деформаций массива, т. е. где возможна начальная диссоциация газогидратов.

При значениях коэффициента проницаемости k на границе раздела упругих и неупругих деформаций, превышающих критическое значение для данного угольного пласта, происходит загазирование выработки (так как происходит интенсивная фильтрация газа в сторону забоя выработки), а при $k < k_{кр}$ – формирование выбросоопасной ситуации.

В качестве примера для пласта «Владимировский» шахты Северная рассчитано, что значение коэффициента проницаемости на расстоянии l=3.5 м от забоя равно $3 \cdot 10^{-15}$ м^2, а критическое значение для этих условий составляет $10 \cdot 10^{-15}$ м^2, т.е. k (3.5)= $3 \cdot 10^{-15}$ м^2 < $k_{кр}$ = $10 \cdot 10^{-15}$ м^2, поэтому данный участок опасен по внезапным выбросам угля и газа (рис. 2).

Таким образом, диссоциация газогидратов может существенно влиять на формирование вида газодинамического явления, поэтому для повышения безопасности подземной отработки угольных пластов нужно на плане ведения горных работ в пределах шахтного поля и горизонта выделять по термодинамическим параметрам и влажности потенциально опасные участки по наличию газогидратов, что позволит заранее разработать горнотехнические мероприятия по переходу забоями выработок данных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким, Т. Л. Образование твердых растворов природного газа в угольной матрице // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. - № 6. – С. 9 -12.

2. Максимов, А. М. Оценка возможности выбросов газа при разложении газовых гидратов в пласте / А. М. Максимов, В. С. Якушев, Е. М. Чувилин // Доклады Академии наук. – 1997. – том 352, № 4. – С. 532 – 534.

3. Ким, Т. Л. Влияние твердых растворов природного газа на газодинамические процессы впереди забоя подготовительной выработки/ Т. Л. Ким, В. В. Дырдин, А. А. Мальшин, С. А. Шепелева // Вестник Кузбасского государственного технического университета.- 2012. - №3. - С. 12-15.

4. Мурашев, В. И. Методическое руководство по прогнозу зон, потенциально опасных по газодинамическим явлениям, при проведении подготовительных выработок с учетом твердых растворов природного газа по типу газогидратов» / В. И. Мурашев, Т. Л. Ким, В. В. Дырдин. – Кемерово, 2014. – 19 с.

5. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа (РД 05-350-00). Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах (Сборник документов) [Текст]. – Москва: Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2011. – С. 120-303

6. Тарасов, Б. Г. Определение потенциально выбросоопасных участков впереди подготовительных

выработок по электрическим параметрам среды и естественного геоэлектрического поля / Б. Г. Тарасов, В. В. Дырдин, В. И. Мурашев, В. В. Иванов, Г. В. Кроль / Подземная разработка мощных угольных пластов. – Сб. научн. тр. / Кузбасск. полит. ин-т. Вып. 2. – Кемерово. - 1974.

7. Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта (методическое указание). ВНИМИ.– Л. – 1973.

8. Яновская М.Ф., Премыслер Ю.С. Номограммы для расчета газовыделения при разрушении угля. - М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1967. 171 с.

REFERENCES

1. Kim, T. L. Obrazovanie tverdyh rastvorov prirodnogo gaza v ugol'noj matrice // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2013. - № 6. – S. 9 -12.

2. Maksimov, A. M. Ocenka vozmozhnosti vybrosov gaza pri razlozhenii gazovyh gidratov v plaste / A. M. Maksimov, V. S. Jakushev, E. M. Chuvilin // Doklady Akademii nauk. – 1997. – tom 352, № 4. – S. 532 – 534.

3. Kim, T. L. Vlijanie tverdyh rastvorov prirodnogo gaza na gazodinamicheskie processy vperedi zaboja podgotovitel'noj vyrabotki/ T. L. Kim, V. V. Dyrdin, A. A. Mal'shin, S. A. Shepeleva // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.- 2012. - №3. - S. 12-15.

4. Murashev, V. I. Metodicheskoe rukovodstvo po prognozu zon, potencial'no opasnyh po gazodinamicheskim javlenijam, pri provedenii podgotovitel'nyh vyrabotok s uchetom tverdyh rastvorov prirodnogo gaza po tipu gazogidratov» / V. I. Murashev, T. L. Kim, V. V. Dyrdin. – Kemerovo, 2014. – 19 s.

5. Instrukcija po bezopasnomu vedeniju gornyh rabot na plastah, opasnyh po vnezapnym vybrosam uglja (porody) i gaza (RD 05-350-00). Preduprezhdenie gazodinamicheskih javlenij v ugol'nyh shahtah (Sbornik dokumentov) [Tekst]. – Moskva: Gosudarstvennoe predprijatie NTC po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortehnadzora Rossii, 2011. – S. 120-303

6. Tarasov, B. G. Opredelenie potencial'no vybrosoopasnyh uchastkov vperedi pod-gotovitel'nyh vyrabotok po jelektricheskim parametram sredy i estestvennogo geojelektricheskogo polja / B. G. Tarasov, V. V. Dyrdin, V. I. Murashev, V. V. Ivanov, G. V. Krol' / Podzemnaja razrabotka moshhnyh ugol'nyh plastov. – Sb. nauchn. tr. / Kuzbassk. polit. in-t. Vyp. 2. – Kemerovo. - 1974.

7. Raschet i jeksperimental'naja ocenka naprjazhenij v celikah i kraevyh chastjah plasta (metodicheskoe ukazanie). VNIMI.– L. – 1973.

8. Janovskaja M.F., Premysler Ju.S. Nomogrammy dlja rascheta gazovydelenija pri razrushenii uglja. - M.: IGD im. A.A.Skochinskogo, 1967. 171 s.

Поступило в редакцию 15.03.2016
Received 15 March 2016