

УДК 622.831.322

Дырдин Валерий Васильевич, профессор, д. т. н.
Ким Татьяна Леонидовна, к.т.н., зав. каф. физики
Мальшин Анатолий Александрович, к. т. н, доцент
(КузГТУ, г. Кемерово)

Dyrdin Valerii, professor, doctor of technical sciences
Kim Tatyana, Head of Department
Malshin Anatolii, assistant professor, doctor of technical sciences
(KuzSTU, Kemerovo)

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ГАЗОГИДРАТНЫХ ЧАСТИЦ

TEMPERATURE CHANGE COAL SEAMS BASED ON DISSOCIATION OF GAS HYDRATE PARTICLES

При подземной разработке угольных месторождений происходит нарушение напряжённо-деформированного состояния массива горных пород впереди забоя выработок, в результате чего образуются зоны концентрации механических напряжений и отжима, где напряжения меньше, чем в нетронутым массиве. В зоне опорного давления коэффициент концентрации напряжений по данным В. В. Ходота на выбросоопасных пластах может равняться 1,7 и более [1]. По данным Шклярского и Глушихина [2] при обрушении пород основной кровли коэффициент концентрации может достигать значений 8-10. Высокая концентрация напряжений приводит к зональной дезинтеграции горных пород [3]. Следствием разрушения зоны угольного пласта впереди забоя выработки величина горного давления в этой зоне может скачкообразно уменьшиться до значений, ниже равновесных для газогидратов, что приведёт к их диссоциации, повышению газового давления и формированию выбросоопасной ситуации. Выброс угля и газа приводит к изменению термодинамического состояния в системе «уголь-газ», сопровождается разрушением краевой части угольного пласта, выносом в выработку «бешенной» муки и изменением температуры угольного пласта[4].

Таким образом, перед внезапным выбросом угля и газа температура в зоне формирования выбросоопасной ситуации должна уменьшаться, а спустя некоторое время должна восстанавливаться до исходных значений. В этой связи актуальной задачей является методом математического моделирования рассчитать диапазон изменения температуры краевой части массива при диссоциации газогидратов природного газа вследствие резкого изменения его напряжённо-деформированного состояния [5].

Газовые гидраты или твердые растворы природного газа по типу газогидратов образуются в угольных пластах при определенных термодинамических условиях и материнской влажности. У газогидратов кристаллическая решетка «хозяина» построена из молекул воды. Молекулы метана размещены во внутренних полостях кристаллической решетки, образованной молекулами воды и удерживаются в них силами Ван-дер-Ваальса. При максимальном заполнении молекулами метана полостей в кристаллической решетке формула газогидрата $8\text{CH}_4 \cdot 46\text{H}_2\text{O}$.

Гидратонасыщенность угольного пласта зависит от его «материнской» влажности ϕ . Определим гидратонасыщенность следующим образом. Зная плотность угля $\rho_{\text{угл}}$ и влажность ϕ , найдем массу воды, содержащуюся в одном м^3 угля $V_{\text{угл}}$ по формуле:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \rho_{\text{угл}} \phi V_{\text{угл}},$$

затем рассчитаем число молекул воды $N_{\text{H}_2\text{O}}$ в одном кубометре угля

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} N_A = \frac{\rho_{\text{угл}} \phi V}{M_{\text{H}_2\text{O}}} N_A.$$

где число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

По экспериментальным данным [4] в образовании газогидратов может участвовать только k - часть молекул, где k (доля молекул воды, участвующая в гидратообразовании) изменяется в интервале 0,25 до 0,36. Кубическая ячейка газогидрата КС-1 (объемом $6,4 \cdot 10^4 \text{ нм}^3$) содержит 46 молекул воды H_2O и 8 молекул метана CH_4 . Масса одной газогидратной ячейки равна:

$$m_{\text{ГГ}} = 46 \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{N_A} + 8 \frac{M_{\text{CH}_4}}{N_A} = 1,59 \cdot 10^{-24} \text{ кг}.$$

Можно найти число газогидратных ячеек, которые содержатся в 1 м^3 угля:

$$N_{\text{ГГ}} = k \frac{N_{\text{H}_2\text{O}}}{46} = \frac{k \rho_{\text{угл}} \phi V}{46 M_{\text{H}_2\text{O}}} N_A$$

и масса всех газогидратных ячеек в 1 м^3 угля

$$M_{\text{ГГ}} = N_{\text{ГГ}} m_{\text{ГГ}}.$$

Гидратонасыщенность найдем в процентах:

$$\beta = \frac{M_{\text{ГГ}}}{M_{\text{угля}}} \cdot 100\%.$$

Рассчитанные параметры газогидратных ячеек, образованных в 1 м^3 угольного пласта при различной материнской влажности от 1 до 5 % представлены в табл. 1.

Предположим, что температура угольного пласта равна $T = 279$ К, тогда давление, при котором существует равновесие свободного метана и газовых гидратов, составляет $P = 5$ МПа.

Рассчитаем изменение температуры угольного пласта при диссоциации газогидратных частиц без учета влияния газогидратных ячеек друг на друга.

Используем расчеты, приведенные в [5]. Одна газогидратная ячейка при разложении выделяет количество теплоты, равное

$$Q_1 = r_{\Gamma\Gamma} m_{\Gamma\Gamma} = 7,155 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$$

где $r_{\Gamma\Gamma} = 453$ кДж/кг удельная теплота фазового перехода газогидрата.

Общее количество теплоты, затраченное на разложение всех газогидратных ячеек в 1 м^3 нетронутого пласта угля, определяется так:

$$Q_{\text{общ}} = N_{\Gamma\Gamma} Q_1.$$

Таблица 1

Расчет параметров образования гидратных ячеек
для различной влажности

φ	ρ_y	$m_{\text{H}_2\text{O}}$	$N_{\text{H}_2\text{O}}$	k	$N_{\Gamma\Gamma}$	$m_{\Gamma\Gamma}$	β
%	кг/м ³	кг	10^{26}		10^{24}	кг	%
1,00	1400	14,00	4,66	0,360	3,65	5,81	0,41
1,50		21,00	7,00	0,346	5,27	8,37	0,60
2,00		28,00	9,33	0,332	6,74	10,71	0,77
2,50		35,00	1,17	0,318	8,07	12,82	0,92
3,00		42,00	14,00	0,304	9,25	14,71	1,05
3,50		49,00	16,33	0,290	10,30	16,37	1,17
4,00		56,00	18,67	0,276	11,20	17,81	1,27
4,50		63,00	21,00	0,262	11,96	19,02	1,36
5,00		70,00	23,33	0,248	12,58	20,00	1,43

Максимальное уменьшение температуры угольного пласта при различных значениях влажности, представленное в табл. 2, найдено по фор-

муле: $\Delta T = \frac{Q_{\text{общ}}}{c_{\text{угл}} m_{\text{угл}}}$, где $c_{\text{угл}} = 1,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – удельная теплоемкость каменного угля.

Таблица 2

Расчет изменения температуры для различной влажности

Φ	ρ _{угл}	r _{ГГ}	c _{угл}	Q ₁	Q _{общ}	ΔT
%	кг/м ³	Дж/кг	Дж/(К·кг)	Дж	10 ⁶ Дж	К
1,00	1,60 · 10 ³	4,53 · 10 ⁵	1,30 · 10 ³	7,155 · 10 ⁻¹⁹	2,61	1,44
1,50					3,77	2,07
2,00					4,82	2,65
2,50					5,77	3,17
3,00					6,62	3,64
3,50					7,37	4,05
4,00					8,01	4,40
4,50					8,56	4,70
5,00					9,00	4,95

Из данных расчетов можно сделать следующие выводы, что в случае диссоциации газогидратных комплексов равномерно распределенных в угольном пласте возможно уменьшение температуры до 5 градусов в зависимости от влажности угля. За счет притока тепла из окружающего пространства температура повышается до пластовой, поэтому при измерении температуры в пласте, она может быть выше или ниже пластовой, что подтверждается многочисленными экспериментальными данными [6].

Список литературы

1. Ходот, В. В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 362 с.
2. Глушихин, Ф. П. Новые закономерности разрушения горных пород вокруг выработок / Ф. П. Глушихин, М. Ф. Шклярский, В. Н. Рева, М. А. Розенбаум // Шахтное строительство — 1986. — № 2.
3. Шемякин, Е. И. Зональная дезинтеграция горных пород вокруг подземных выработок / Е. И. Шемякин, Г. Л. Фисенко, М. В. Курленя,

- В. Н. Опарин и др. // ФТПРПИ. — Ч. I. 1986. — № 3. — Ч.2: Разрушение горных пород на моделях из эквивалентных материалов // ФТПРПИ. — 1986. — № 4. — Ч. 3: Теоретические представления // ФТПРПИ. — 1987. — № 1. — Ч. 4: Практические приложения // ФТПРПИ. — 1989. — № 4.
4. Smirnov, V. G. Problem of Pulverized Coal Formation at Mine Outburst Caused by Decomposition of Gas Hydrates in Coal Seams / V. G. Smirnov, V. V. Dyrdin, A. YU. Manakov, Z. R. Ismagilov, T. P. Adamova // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – **24**. – С. 499–507.
 5. Дырдин, В. В. К вопросу распределения температуры в краевой зоне угольного пласта / В. В. Дырдин, Т. Л. Ким, А. А. Мальшин, А. А. Фофанов // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 7. – Москва : Изд-во : Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности. – С. 37–40.
 6. Денисенко, С. М. К вопросу оценки выбросоопасности угольных пластов по температурному фактору. – В кн.: Способы и средства разработки выбросоопасных угольных пластов: изд. ИГД им. А. А. Скочинского. – 1979.