

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГЛЯ, ОТТОРГНУТОГО ОТ МАССИВА

инж. Смолашов И.Н., инж. Шевченко Л.В. (Институт физики горных процессов ИАН Украины)

Для описания процесса накопления метана и других углеводородных газов в замкнутых объемах, где уголь хранится длительное время, необходимо разработать модель истечения газа из углей различной степени метаморфизма и фракционного состава с учетом диффузии, десорбции, массопередачи и накопления выделившегося метана. Знание поведения газа в твердом теле позволяет по экспериментальным и теоретическим данным судить об энергии связи молекулы метана с углем, количестве и размере пор [1], о применимости ряда моделей диффузии в пористых твердых телах [2]. Для начальных периодов, с момента отторжения угля от массива, процесс газовой выделености приближенно можно описать уравнением теплопроводности [3]. В дальнейшем, дегазация должна происходить достаточно быстро, что не наблюдается в действительности. Куски угля, хранящиеся в бункерах и на складах, выделяют метан длительное время, образуя зоны его повышенной концентрации, приводя к появлению слоевых скоплений, возгоранию метановоздушной среды и взрывам газа с вовлечением угольной пыли.

До настоящего момента не разработан метод определения времени образования опасной концентрации метана, выделяющегося в замкнутых объемах из углей различных марок.

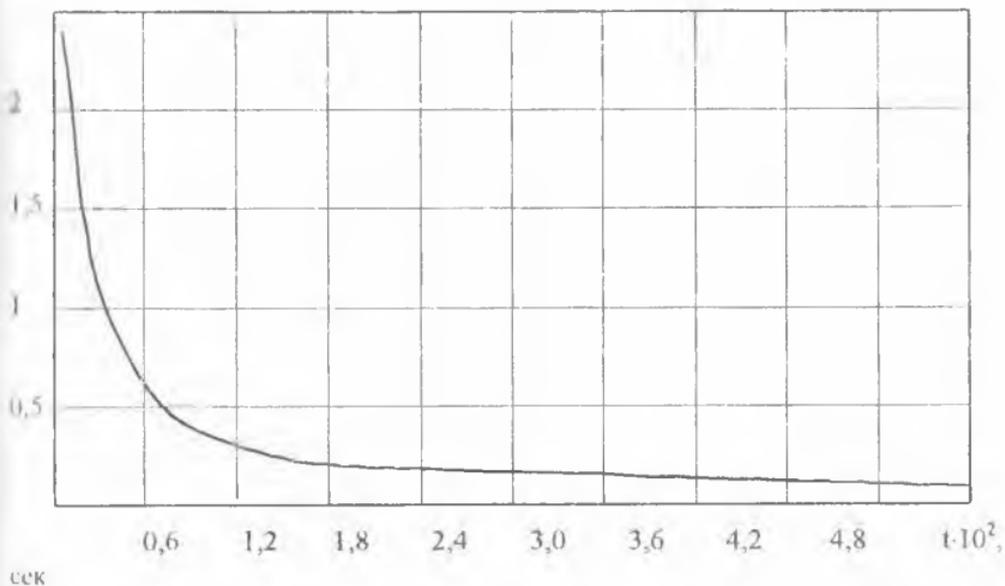
В результате теоретических, лабораторных и экспериментальных исследований проведен анализ процесса метанообразования и метанонакопления в бункерах с учетом диффузии газа и сорбционных свойств угля.

Известно, что доля газовой выделености из отбитого угля в зависимости от времени, прошедшего с момента отторжения угля от массива, определяется коэффициентом K_m [2]

$$K_m = a e^{(t_s)^b},$$

где a, b – коэффициенты, характеризующие газоотдачу из отбитого угля;
 t_s – время, прошедшее от отбойки угля в лаве, сек.

Из графика, представленного на рис.1 следует, что наиболее интенсивное газовой выделености наблюдается в течение первых десятков минут после отторжения угля от массива, а затем скорость дегазации снижается. Однако, истечение газа прослеживается еще в течение длительного периода времени, исчисляемого месяцами. Объясняется это тем, что вначале десорбирует слабо связанный метан, а затем – метан, растворенный в угле (твердый

$K_m \cdot 10^{-2}$ 

$$K_m = a b T^{b-1}$$

Рис. 1. Изменение степени дегазации угля после отделения его от массива.

раствор), коэффициент диффузии которого порядка 10^{-9} – 10^{-11} м²/сек.

Анализ условий выделения метана при транспортировке угля от лавы до аккумулирующего бункера показал, что газовыделение зависит, в основном, от емкости бункера, газоносности разрабатываемого пласта, температуры угольного массива, времени заполнения бункера [4].

В табл. 1 представлены данные по метановыделению в аккумулирующем бункере в зависимости от его емкости, газоносности пласта и времени транспортировки. Газовыделение в бункерах малой емкости составляет 0,1–0,2 м³/мин, большой – более 2,5 м³/мин.

Таблица 1. Метановыделение из угля в аккумулирующем бункере.

Емкость бункера, т	Газоносность пласта, м ³ /т	Газовыделение из угля в бункере (м ³ /мин) при времени транспортировки от лавы до бункера, мин			
		2	10	20	30
10	10	0,30	0,18	0,13	0,10
	20	0,50	0,32	0,22	0,17
	30	0,74	0,45	0,31	0,24
50	10	0,88	0,61	0,48	0,34
	20	1,52	1,06	0,83	0,69
	30	2,17	1,51	1,19	0,99
100	10	1,11	0,89	0,76	0,66
	20	1,93	1,55	1,31	1,14

Продолжение таблицы 1.

Емкость бункера, т	Газопосность шпаста, м ³ /т	Газовыделение из угля в бункере (м ³ /мин) при времени транспортировки от лавы до бункера, мин			
		2	10	20	30
200	30	2,74	2,21	1,87	1,63
	10	1,36	1,21	1,09	0,99
	20	2,37	2,10	1,89	1,72
300	30	3,37	2,98	2,69	2,45
	10	1,53	1,40	1,30	1,21
	20	2,65	2,43	2,26	2,11
500	30	3,77	3,46	3,21	3,00
	10	1,75	1,66	1,58	1,51
	20	3,03	2,88	2,74	2,62
700	30	4,32	4,10	3,90	3,73
	10	1,91	1,84	1,77	1,71
	20	3,31	3,19	3,08	2,97
	30	4,72	4,54	4,38	4,23

Исследования проводили на угле марки Ж шахты «Чайкино». На шахте в эксплуатации находится аккумулирующих бункер емкостью 300 т, в который поступает уголь с выемочного участка, отрабатывающего шпаст т₃, газопосность которого составляет 20,0 м³/т. Суточная загрузка бункера – 500 т, время транспортировки угля – 30 мин, расстояние от выемочного участка 2200 м. По данным измерений газовыделение составляет примерно 2,5 м³/мин.

В табл.2 представлено влияние фракционного состава угля на кинетические параметры образования метана.

Таблица 2. Влияние фракционного состава угля на кинетические параметры образования метана.

Фракционный состав угля, мм	Энергия активации образования газообразных продуктов, E, кДж/моль	Константа скорости образования газообразных продуктов, K 10 ⁻² сек ⁻¹	Предельное количество газообразного продукта, V ₀ , см ³ /г
2,5-5,0	18,6	3,2	8,5
5,0-10,0	17,7	2,2	8,5
10,0-20,0	17,3	1,7	8,5

В табл.3, 4 представлена динамика выделения метана из угля фракции R = 2,5-5,0 мм при температурах T = 25⁰С и T = 40⁰С. Естественно, что с повышением температуры возрастает предельное количество метана, которое может образоваться в данных условиях, что объясняется кроме явлений усиления десорбции еще и протеканием в угле реакций, сопровождающих процесс окисления угольного вещества.

Таблица 3. Интенсивности десорбции метана из частиц угля пласта шахты «Чайкино» при температуре 25°C.

Время	Значения параметров Q^* и $\mu \cdot 10^6$, л/с					
	R=0,0075 м		R=0,00375 м		R=0,00187 м	
$t \cdot 10^{-4}$, с	Q^*	μ	Q^*	μ	Q^*	μ
2	0,75	34,7	0,74	17,6	0,72	17
4	0,56	20,5	0,54	16,6	0,53	16,1
8	0,32	16,7	0,31	15,1	0,29	15,5
12	0,20	14,8	0,18	14,6	0,17	14,8
16	0,13	13,7	0,12	13,5	0,11	13,8
20	0,10	12,5	0,095	11,9	0,09	12

Таблица 4. Интенсивности десорбции метана из частиц угля пласта шахты «Чайкино» при температуре 40°C.

Время	Значения параметров Q^* и $\mu \cdot 10^6$, л/с					
	R=0,0075 м		R=0,00375 м		R=0,00187 м	
$t \cdot 10^{-4}$, с	Q^*	μ	Q^*	μ	Q^*	μ
2	0,65	21	0,62	26	0,61	25
4	0,41	26	0,39	24,5	0,37	25
8	0,17	24,5	0,15	24	0,14	24,6
12	0,088	21	0,079	21	0,07	22,2
16	0,044	20	0,038	20	0,033	21,3
20	0,041	16,5	0,034	17	0,027	18

Полученная модель газовыделения из отторгнутого от массива частиц угля позволила рассчитать коэффициенты диффузии, массоотдачи и накопления метана в замкнутых объемах, интенсивность десорбции и получить выражение для расчета количества выделившегося метана.

Коэффициент диффузии D , рассчитанный по формуле

$$D = \frac{R^2 \ln Q_1 - R^2 \ln Q_2}{6t \ln \frac{Q_1}{Q_2}}$$

в условиях проведения эксперимента равен $6,9 \cdot 10^{-10}$ м²/с, при $T = 25^\circ\text{C}$ и $11,9 \cdot 10^{-10}$ м²/с, при $T = 40^\circ\text{C}$.

Интенсивность десорбции μ , определяемая из выражения

$$\mu = \frac{\ln Q}{R^2} \cdot \frac{1}{6D - t}$$

$$\mu = \frac{11,3 \cdot 10^{-6}}{R^{0,2}} e^{3 \cdot 10^{-6}}$$

Выражение для расчета динамики относительных количеств выделившегося метана \bar{Q} имеет вид

$$\bar{Q} = 1 - e^{-\frac{11,3 \cdot 10^{-6}}{R^{0,2}} \cdot e^{-3 \cdot 10^{-6} t \left(\frac{R^2}{6D} - t \right)}}$$

Обобщая выражения для интенсивности десорбции метана в экспериментах с углями разных фракций, хранящихся в различных условиях, получаем

$$\mu = \frac{2 \cdot 10^4 D}{R^{0,2}} e^{-7,8 \cdot 10^4 D t}$$

Выведенные закономерности и полученные в ОФТП и НПО «Респиратор» экспериментальные данные предназначены для разработки нормативных документов по определению опасной концентрации метана, выделяющегося в замкнутых объемах из углей различных марок.

Авторы выражают благодарность научному руководителю работы д.т.н., проф., акад. АГН Алексееву А.Д., принявшему участие в обсуждении полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alexeev A.D., Vasilenko T.A., Ulyanova E.V. Fuel 1999, 78/6, p.635-638.
2. Alexeev A.D., Zaidenvarg V.E., Sinolitsky V.V. Gluckaut-Forschungshefte, 55, N1, 1994, p.32-34.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности.-М.: Высшая школа, 1967, 599 с.
4. Смолянов И.Н., Шевченко Л.В. Исследование процесса метаноаккумуляции в бункерах при хранении угля.-Горный Информационно-аналитический бюллетень.-М.: Изд-во МГТУ, №6, 2002.