

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА, ВЫДЕЛЯЮЩЕГОСЯ В ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМАХ

инж. Смоланов И.Н., инж. Шевченко Л.В. (ИФГП НАН Украины)

Визначен час утворення вибухонебезпечної концентрації метану, що виділяється в замкнутих об'ємах (бункерах) з урахуванням фракційного складу, дифузії, сорбційних властивостей вугілля, ємності бункера, часу його заповнення та умов транспортування відбитого вугілля від масиву до сховища.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА, ВЫДЕЛЯЮЩЕГОСЯ В ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМАХ

Смоланов И.Н., Шевченко Л.В. (ИФГП НАН Украины)

Development of the technique to measure dangerous methane concentrations arising from coals of various coal classes in closed cavems.

Накопление метана, продолжающееся длительное время после отторжения угля от массива, является основной причиной образования взрывоопасной газовой среды в бункерах и хранилищах, особенно при ограниченном их проветривании.

При транспортировке и хранении угля в замкнутых объемах метано-выделение необходимо рассматривать с точки зрения структурного строения углей.

Во время механического воздействия (в процессе добычи угля) реализуются нагрузки, сопровождающиеся разрывом химических связей и выделением энергии. Степень природной активации углей – сорбентов, определяется соотношением между циклическими конденсированными ядрами и боковыми группами алифатических соединений [1]. Интервал структурных величин, характеризующих внутреннее строение и свойства поверхности угля, различается на несколько порядков. Основу макро-структуры угольного вещества составляют сорбционные частицы, совокупность которых образует суперсорбционные частицы, окруженные переходными порами и каналами. Суперсорбционные частицы формируют фильтрационно-сорбционные, окруженные макропорами и фильтрационными каналами. Совокупность фильтрационно-сорбционных частиц образует частицу угольного вещества. Такая модель макро-структуры угля сводит процесс выделения десорбирующегося метана к диффузии его из объема угля. Если же рассматривать уголь, как полимер, основу которого составляют ароматические ядра, наиболее вероятен будет при отторжении угля от массива и его дроблении механизм отрыва боковых цепей с образованием радикалов, обладающих одним или двумя неспаренными элек-

тронами. Таким образом, описывая процесс дегазации (десорбции) необходимо учитывать физические свойства углей, обусловленные их химическим составом, структурой и надмолекулярной организацией.

По результатам исследований характера и интенсивности влияния метана на свойства углей, известно, что он может находиться в угле в состоянии однофазного двухкомпонентного твердого раствора внедрения [2].

В процессе метаморфизма образовавшийся метан частично выделялся в виде свободной фазы, а частично заполнял вакансии в молекулярной структуре и межмолекулярных промежутках угля. Таким образом, при определенных термо-динамических природных условиях, метан может существовать не только в свободном и адсорбированном на поверхности пор состоянии, но и в виде метано-угольного твердого раствора. Распад его определяется переходом физико-химического связанного метана в свободное состояние и сопровождается спонтанным газовыделением.

Аналогичный процесс наблюдается при отторжении угля от массива и хранении его в замкнутых объемах (бункерах, трюмах, хранилищах), когда происходит сброс давления и частицы угля начинают терять тот свободный газ, который находился в неоднородном фильтрационном поровом пространстве. При структурном градиенте концентрации газа в угле на фоне неупорядоченного теплового движения метана наблюдается упорядоченное, выравнивающее неоднородность концентрации и вызывающее диффузию, приводящую к газовыделению.

Для описания условий метановыделения в замкнутых объемах, где уголь хранится длительное время, необходимо было разработать модель истечения газа из углей различного фракционного состава с учетом диффузии, сорбционных свойств, массопередачи, газоносности угольного пласта, условий транспортировки отбитого угля от массива до бункера, его емкости и времени заполнения бункера.

Совместно с НПО «Респиратор» [3] был проведен анализ теоретических, лабораторных и экспериментальных исследований процесса метанообразования и метаноаккумуляции и разработан метод определения времени образования опасной концентрации метана, выделяющегося в замкнутых объемах.

Прогноз времени образования в шахтных угольных бункерах и других плохо проветриваемых его хранилищах взрывоопасных концентраций метана основан на учете сорбционных свойств угля, определяющих наличие метана в закрытых и открытых порах, кинетики его перехода из связанного состояния в свободное, выделения метана при отторжении от массива и динамики накопления его в свободных объемах хранилищ угля.

Основными факторами, определяющими время образования взрывоопасной концентрации метана в шахтных угольных бункерах и закрытых хранилищах угля, являются содержание метана в угольном веществе, в открытых и закрытых порах, скорость перехода метана из связанного состояния в свободное; скорость диффузии метана из угля в атмосферу; объем угля в бункере; объем свободного, для скапливания метана, пространства;

время, прошедшее от момента отбойки угля до его загрузки в бункер; фракционный состав частиц угля; интенсивность проветривания хранилища.

Каждый из перечисленных факторов только частично характеризует время накопления взрывоопасной концентрации метана и не определяет его в целом. Совокупность всех факторов выражается аналитическим решением задачи, которая описывает динамику процесса накопления метана, зависящую от распределения его в открытых и закрытых порах и газо-угольном растворе, коэффициента диффузии, температуры, времени и, учитывающую влияние всех факторов, действующих совместно, и связанных между собой найденными при обработке экспериментов зависимостями.

В связи с вышеизложенным, сущность метода определения времени образования взрывоопасной концентрации метана в хранилищах угля заключается в том, что по представленным пробам угля и данным о его количестве в бункере, фракционном составе, времени отторжения от массива и условиях проветривания хранилищ, определяют лабораторным путем коэффициенты диффузии, массоотдачи и объем метана в открытых и закрытых порах и рассчитывают динамику накопления метана в свободном пространстве хранилищ. Задавая необходимый уровень концентрации метана в замкнутом объеме, рассчитывают время его образования.

Расчет динамики накопления проводится на ПЭВМ по специально разработанному алгоритму.

В случае полного прекращения проветривания расчет времени образования взрывоопасных концентраций метана может быть выполнен вручную по упрощенным зависимостям.

Исследование динамики метановыделения из отторгнутого от массива угля проводили на образцах углей различных шахт Донбасса [4,5]. Фракционный состав исследуемых образцов представлен в табл. 1.

ЯМР-спектроскопическим методом определяли количество резонируемых ядер водорода, характеризующих структуру угля и содержание метана в нем [6].

Таблица 1. Фракционный состав угля.

№ фракции	Диапазон размера частиц, $2R_i$, м	Средний радиус частицы, R_i , м	Доля частиц i -й фракции
1	0,1-0,05	0,0375	n_1
2	0,05-0,025	0,0187	n_2
3	0,025-0,02	0,0112	n_3
4	0,02-0,007	0,0062	n_4
5	0,007-0,005	0,003	n_5
6	0,005-0,003	0,0025	n_6
7	0,003-0,001	0,001	n_7
8	0,001-0,00025	0,00031	n_8
9	менее 0,00025	менее 0,000125	n_9
			$\Sigma 1$

По результатам измерения определяли исходное содержание ядер водорода метана в пробе каждой фракции по формуле:

$$W_{исх} = \frac{\Delta S_{уз}}{\Delta S_{ши}}$$

где $\Delta S_{уз}$, $\Delta S_{ши}$ – площади узкой и широкой линий спектра ЯМР соответственно, см^2 , а $S = I \cdot \Delta H$,

где I – интенсивность линии, образуемой ядрами водорода флюидов; ΔH – ширина структурной линии ЯМР-спектра.

Коэффициент диффузии метана из угля рассчитывали по формуле:

$$D = \frac{R_1^2 \ln Q_1 - R_2^2 \ln Q_2}{6t_2 \ln \frac{Q_1}{Q_2}}$$

где $R_{1,2}$ – размер фракций угля, м;

t – время десорбции, сек;

$Q_{1,2}$ – относительное изменение концентрации метана за время де-

сорбции, соответствующее каждой фракции ($Q_{1,2} = \frac{W_{ср.исх} - W_{ср.}(t)}{W_{ср.исх}}$).

Измерения производили при температуре 18-25⁰С и нормальном давлении.

Сравнением теоретических зависимостей динамики метановыделения с данными эксперимента позволило математически описать процесс перехода метана из связанного состояния в свободное при отторжении угля от массива и хранении его.

Динамику изменения концентрации метана в свободном объеме бункера вычисляли по формуле:

$$C(t) = 1 - \exp \left\{ - \frac{V_1 S_0}{\rho_m V_2} \left[e^{-\mu t} - e^{-\mu(t+t_0)} \right] \right\},$$

где V_1 – объем угля в бункере, м^3 ;

V_2 – свободный от угля объем бункера, м^3 ;

μ – кинетический коэффициент перехода метана из связанного в свободное состояние, $1/\text{с}$, определяемый по формуле

$$\mu = \frac{2 \cdot 10^4 D}{R^{0.2}} e^{-7.8 \cdot 10^4 D l}$$

где D – коэффициент диффузии метана из открытых, закрытых пор угля и газоугольного раствора, $\text{м}^2/\text{с}$.

Таблица 2. Параметры исследуемых углей.

Наименование шахты	им.А.Ф.Засядько	“Северная”	“Чайкино”	“Южно-Донбасская №3”
Индекс пласта	m ₃	l ₃	m ₃	c ₁₃
Марка угля	Ж	ОС	Ж	Г
Газоносность, Q/t=0, м ³ /т	36	12	9	19
Коэффициент диффузии, D·10 ¹⁰ , м ² /с	0,86	3,5	6,9	9,3
Интенсивность десорбции μ в функции времени, 1/с	$\mu = \frac{2,3 \cdot 10^{-6}}{R_i^{0,2}} e^{-2,10 \cdot 10^{-6} t}$	$\mu = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{R_i^{0,2}} e^{-2,4 \cdot 10^{-6} t}$	$\mu = \frac{12,4 \cdot 10^{-6}}{R_i^{0,2}} e^{-5,7 \cdot 10^{-6} t}$	$\mu = \frac{18 \cdot 10^{-6}}{R_i^{0,2}} e^{-6,5 \cdot 10^{-6} t}$
Интенсивность десорбции при t=0, $\bar{\mu}_0 \cdot 10^6$, 1/с	2,3	4	12,4	18
Показатель скорости сни- жения интенсивности де- сорбции, $\chi \cdot 10^6$, 1/с	2	2,4	5,7	6,5
Интенсивность десорбции в функции остаточного мета- носождения, μ, 1/с	$\mu = \frac{1,8 \cdot 10^{-7}}{R^{0,9}} Q^{*2}$	$\mu = \frac{13 \cdot 10^{-7}}{R^{0,9}} Q^{*2}$	$\mu = \frac{6,1 \cdot 10^{-7}}{R^{0,9}} Q^*$	$\mu = \frac{4,52 \cdot 10^{-6}}{R^{0,9}} Q^*$

Таблица 3. Сравнение расчетных значений определения метаноаккумуляции в надбункерном пространстве с экспериментальными данными для различных шахт Донбасса.

Шахта, ГХК	Пласт	Газоносность, м ³ /т	Номер бункера	Емкость бункера, т	Суточная нагрузка, т	Время транспортировки, мин.	Расход воздуха, м ³ /мин.	Радиус фракций угля, мм	Концентрации метана, %	
									Экспер.	Расчет.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
«Северная»	т ₃	25-35		40	200-350	7-8	100-150	15	0,03	0,031
«Чайкино»	т ₃	20	№1	300	500	25-30	720	15	0,1-0,3	0,33
Южно-донбасская №3, «Донуголь»	с ₁₁	12	№1	70	1200	50-55	160	15	0,2	0,22
	с ₁₁	12	№2	190	2400	12-15,20-25	360	15	0,2	0,24
Им. А.Ф.Засядько «Донуголь»	т ₃	20	№1	130	1600	10-15	~400	15	0,2	0,18

Расчетные данные по разработанному методу сравнивали на ПЭВМ с данными измерений расходов угля и концентраций метана в бункере с последующим корректированием параметров, используемых при расчетах.

В табл. 2 представлены некоторые параметры исследуемых углей (исходные и рассчитанные).

Определение коэффициента диффузии и объема закрытых пор для расчета времени образования взрывоопасных концентраций метана в шахтных бункерах и других хранилищах угля проводили по методикам [7], разработанным в Институте физики горных процессов НАН Украины

В табл.3 представлены сравнительные данные расчетных и экспериментальных значений концентрации метана в замкнутом пространстве для бункеров различных шахт Донбасса.

Сходимость полученных расчетным и экспериментальным путем значений концентрации накопившегося метана считаем удовлетворительной, т.к. среднеквадратичное отклонение определений не превышает 15%.

Полученные результаты будут использованы для практических расчетов метановыделения и метанонакопления в замкнутых объемах с целью предотвращения образования взрывоопасной концентрации метана при хранении и транспортировке угля.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаров Л., Ангелова Г. Структура и реакции углей.-София: Изд-во Болгарской АН, 1990.-231с.
2. Свидетельство на открытие: диплом №9 А.Д.Алексеев, А.Т.Айруни, Ю.Ф.Васючков и др. Свойство органического вещества угля образовывать с газами метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов. Открытие А-016 от 30.06.94.
3. Греков С.П., Смоланов И.Н. Газовыделение из отторгнутого от массива угля и опасность скопления метана в бункерах и замкнутых объемах./Уголь Украины.-2002.-№12.-С.52-54.
4. Смоланов И.Н., Шевченко Л.В. Исследование процесса метанонакопления в бункерах при хранении угля.-Горный информационно-аналитический бюллетень.-М.: Изд-во МГТУ, 2002, №6.
5. Смоланов И.Н., Шевченко Л.В. Исследование динамики метановыделения из угля, отторгнутого от массива. Сб. Физико-технические проблемы горного производства, вып.5, 2002.-С.74-78.
6. Алексеев А.Д., Зайденварг В.Е., Синолицкий В.В., Ульянова Е.В. Радиофизика в угольной промышленности.-М.: Недра, 1992.-184с.
7. А.Д.Алексеев, Г.П.Стариков, И.Н.Смоланов и др. Метод определения времени образования в горных выработках, пройденных по пласту, опасных концентраций метана и других углеводородов при пожарах с учетом сорбционных свойств угля.-СТП, Донецк, 2002.-18с.