

СТАТЬЯ

УДК 51:550.83:553.43

**МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАММА-МЕТОДА
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗОН С ПОВЫШЕННОЙ ГАЗООТДАЧЕЙ****Муллагалиева Л.Ф., Баймухаметов С.К., Портнов В.С., Юров В.М., Мадисева Р.К.***Карагандинский технический университет, Караганда, e-mail: m_liliya88@mail.ru*

Зоны с повышенной газоотдачей представляют собой в большинстве случаев и зоны внезапных выбросов угля и метана в шахтах при вскрытии угольных пластов. В настоящей работе излагается термодинамический подход для получения уравнения, которое позволяет использовать гамма-метод в скважинах для измерения удельного газовыделения и обнаружения зон с повышенной газоотдачей. Использовать гамма-метод для исследования угольных месторождений можно по той причине, что коэффициенты, по которым происходит ослабление гамма-излучения, и коэффициенты, по которым происходит преобразование первичных излучений во вторичные, линейно зависят от плотности угольного пласта. При этом важную роль играет и содержание в нем полезного для исследования компонента. Полученное в работе уравнение можно использовать для измерения удельного газовыделения c_0 и тем самым по ее значению определять зону повышенной газоотдачи, способной к внезапному выбросу угля и метана. Если относительный параметр $J^{rel} < 0,61$ (мкР/час), то в угольном пласте в Карагандинском бассейне высок риск внезапных выбросов угля и газа, то есть он входит в зону с повышенной газоотдачей. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что вероятной причиной образования зон с повышенной газоотдачей считается, на наш взгляд, образование флюидизации ископаемых углей. Наряду с этим нужно учитывать и напряженно-деформированное состояние между угольным пластом и окружающей его породой.

Ключевые слова: гамма-метод, гамма-излучение, газовыделение, прибор, детектор, индикатор, угольный пласт, выброс угля и газа, метан

**METHOD OF USING THE GAMMA METHOD FOR DETECTING ZONES
WITH INCREASED GAS RECOVERY****Mullagalieva L.F., Baymukhametov S.K., Portnov V.S., Yurov V.M., Madisheva R.K.***Karaganda Technical University, Karaganda, e-mail: m_liliya88@mail.ru*

Zones with increased gas recovery are, in most cases, also zones of sudden outbursts of coal and methane in mines during the opening of coal seams. In this paper, a thermodynamic approach is presented to obtain an equation that allows the use of the gamma method in wells to measure the specific gas emission and detect zones with increased gas recovery. The gamma method can be used to study coal deposits because the coefficients by which gamma radiation is attenuated and the coefficients by which primary radiation is converted into secondary radiation linearly depend on the density of the coal seam. At the same time, the content of the component useful for the study also plays an important role. The equation obtained in the work can be used to measure the specific gas emission c_0 and, thereby, by its value to determine the zone of increased gas recovery, capable of a sudden release of coal and methane. If the relative parameter $J^{rel} < 0.61$ ($\mu R/hour$), then the coal seam in the Karaganda basin is dangerous to sudden outbursts of coal and gas, that is, it enters the zone with increased gas recovery. The conducted studies allow us to conclude that the probable cause of the formation of zones with increased gas recovery is, in our opinion, the formation of fluidization of fossil coals. Along with this, it is necessary to take into account the stress-strain state between the coal seam and the rock surrounding it.

Keywords: gamma method, gamma radiation, outgassing, device, detector, indicator, coal seam, coal and gas outburst, methane

Важнейшая характеристика угольных пластов связывается со степенью их газоотдачи. Зоны с повышенной газоотдачей представляют собой в большинстве случаев и зоны внезапных выбросов угля и метана в шахтах при вскрытии угольных пластов. На сегодняшний день насчитывается около 150 теорий, которые делают попытки объяснения механизма внезапных выбросов угля и метана [1–4]. Первый внезапный выброс угля и газа был зафиксирован в 1812 г. в Англии. В недавней работе [5] предложен механизм внезапных выбросов угля и метана, который состоит из двух составляющих. Первая из них представляет собой геодинамический процесс в области опорного давления. В этой зоне происходит повы-

шение силового воздействия на угольный пласт, а более точно, на его надмолекулярную структуру, то есть на наноструктуру угля [6]. Вторая из них представляет собой энергетический процесс, который состоит из увеличения тепловой энергии, испускаемой атомами угольного вещества. Проявление внезапного выброса угля и метана обнаруживается в угольном пласте, который содержит аномальную метаноемкость (опять же в наноструктуре угля), т.е. зону с повышенной газоотдачей.

В настоящей работе излагается термодинамический подход для получения уравнения, которое позволяет использовать гамма-метод в скважинах для измерения удельного газовыделения и обнаружения зон с повышенной газоотдачей.

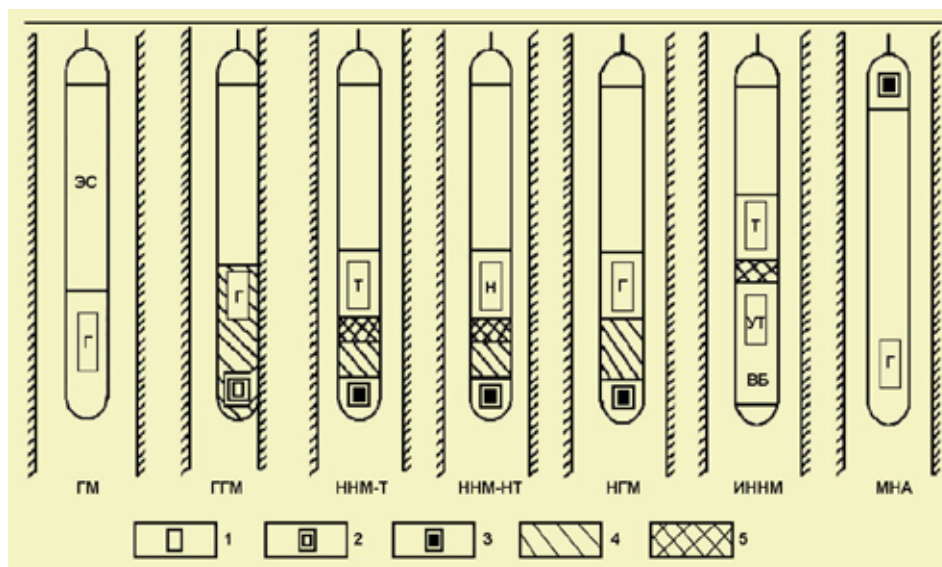


Рис. 1. Схема зондов радиометрии скважин [7]

1 – детекторы гамма-излучения (Г), тепловых (Т) и надтепловых (Н) нейтронов; источники: 2 – гамма-излучения; 3 – быстрых нейтронов; 4 – вещество, хорошо поглощающее гамма-кванты (Pb, Fe и т.п.); 5 – водородсодержащее вещество, рассеивающее и поглощающее нейтроны (парафин, полиэтилен и т.п.); УТ – ускорительная трубка генератора нейтронов; ВВ – высоковольтный блок; ЭС – электронная схема прибора

Таблица 1

Средние значения параметров при внезапных выбросах угля и газа при проведении подготовительных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна

Шахта	Год ВВУГ	Глубина отработки, м	Количество выброшенной горной массы, т	Объем выделившегося метана, м ³	Дальность отброса горной массы, м	Удельное газовыделение, м ³ /т
Шахтинская	1971	300	15	660	5,2	44
им. Ленина	1976	410	550	36 000	50	66
им. Ленина	1978	427	61	9 800	11	161
им. Ленина (при проходке ствола)	1978	435	380	27 933	5,5	73
им. Ленина	1983	350	145	10 000	18	69
им. Ленина	1985	317	50	2 040	20,2	41
Казахстанская	1989	466	110	10 000	12	91
Казахстанская	1989	478	1 200	250 000	104	208
им. Ленина	1995	545	640	550 000	66	860
им. Ленина	1998	580	3 250	1 300 000	236	650
Тентекская	2008	542	1 087	414 085	107	381
Тентекская	2009	485	1 076	74 763	95	107
Казахстанская	2012	524	370	29 524	36	79,8
Казахстанская	2020	636	842	161 645	84	192,1
Средние значения		429	698	205 465	60,7	215,9

Материалы и методы исследования

Здесь мы изложим результаты использования гамма-метода в различных модификациях [7]. Использование гамма-метода в скважинах с помощью прибора, который имеет детектор гамма-излучения и схему электроники (рис. 1).

Эта схема питает индикатор, который служит для усиления принятых сигналов и передачу их кабелем на поверхность. Чаще всего используют многоканальные приборы, в которых помимо гамма-метода регистрируют и сигналы с нейтронного гамма-метода. Середина детектора отмечает точку записи ГМ. На измерения, осуществляемые при помощи модуля гамма-каротажа, рабочая среда скважины оказывает относительно небольшое влияние, так как измерения обычно осуществляются в скважине калиброванного диаметра и при сравнительно низких объемах бурового раствора при смещении бурильной колонны.

В табл. 1 излагаются результаты нашей работы [8], которую мы будем использовать дальше при анализе процесса внезапных выбросов угля и газа (ВВУГ).

Результаты исследования и их обсуждение

Использовать гамма-метод для исследования угольных месторождений можно по той причине, что коэффициенты, по которым происходит ослабление гамма-излучения, и коэффициенты, по которым происходит преобразование первичных излучений во вторичные, линейно зависят от плотности угольного пласта. При этом важную роль играет и содержание в нем полезного для исследования компонента. Диффузионное приближение предполагает явную зависимость рассеяния в веществе гамма-излучения [9]:

$$J/J_0 = J^{отн} = \text{const} \cdot \rho / \text{Re}^{-\xi}, \quad (1)$$

где ρ – плотность вещества, $\xi = \bar{\mu}R$, $\bar{\mu}$ – коэффициент ослабления гамма-излучения; R – протяженность зонда. В случае ($R \rightarrow 0$) выражение (1) имеет вид [9]:

$$J/J_0 \approx \text{const} \cdot (1/\bar{\mu}_{эф}), \quad (2)$$

где $\bar{\mu}_{эф} = \mu/\rho$. В случае селективного гамма-метода вместо (2) мы имеем [9]:

$$\mu = \sigma_{\phi} \cdot \rho \cdot N_A / A, \quad \sigma_{\phi} = \text{const} \cdot Z_{эф}^4 / E_{\gamma}^3, \quad (3)$$

где A – атомный вес элемента; N_A – число Авогадро; $Z_{эф}$ – эффективный атомный номер исследуемого угольного пласта; q_i – процентное содержание i -го элемента в угле; Z_i – атомный номер элемента в таблице Менделеева; E_{γ} – энергия гамма-излучения источника.

Параметр $Z_{эф}$ предназначен для сравнения угольных пластов по их гамма-лучевому отличию. Особенно это актуально для углей разной степени метаморфизма, который выделяет угольные пласты по их маркам (Б, Д, К, Ж и т.д.). Кроме этого по $Z_{эф}$ определяется содержание того или иного химического элемента, который содержится в угольном пласте. Однако результаты подробного анализа, которые получаются при использовании детекторов гамма-метода, осложняются их зависимостью от геометрии и структуры зондов (рис. 1). Проявляется также зависимость от физико-химических свойств угольного пласта, в частности от содержания влаги, которые образуют флюидно-метасоматическое преобразование угля на участке тектонического нарушения [7]. Но поскольку сам гамма-метод не чувствует процессы рассеяния излучений, которые происходят на микроуровне из-за значительной величины энергии E_{γ} гамма-квантов, превосходящей энергию магнитных диполей в угле, то функция отклика из нашей работы [7] примет вид

$$1 - J^{отн} = -B(C_{Fc} / G_0 E_{\gamma}), \quad (4)$$

где $B = (kT)^2/C$, $C = 2\Delta S/k$ – постоянная для данного элемента и источника гамма-излучения; ΔS – изменение энтропии при квантовом переходе из возбужденного состояния в основное, равное $\Delta S = NE_{\gamma}^2 / 2kT^2$, где N – среднее число атомов элемента в горной породе или руде; G^0 – энергия Гиббса горной породы или руды.

Окончательно, модифицируя [7], для газонности угольного пласта имеем

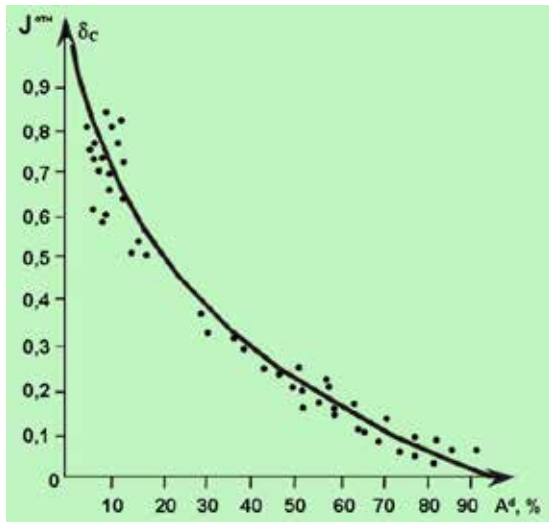
$$c_0 = \chi \cdot (1 - J^{отн}). \quad (5)$$

Полученное уравнение (5) будем применять для использования гамма-метода в скважинном каротаже. При этом условие постоянства энергии зонда будет соблюдаться. Покажем это. Прежде всего воспользуемся работой [10] (рис. 2) и определим зольность пласта K_{10} (табл. 1) на шахте «Абайская» по параметру $J^{отн}$. Затем воспользуемся работой [11], где зольность пласта K_{10} указана в табл. 2.

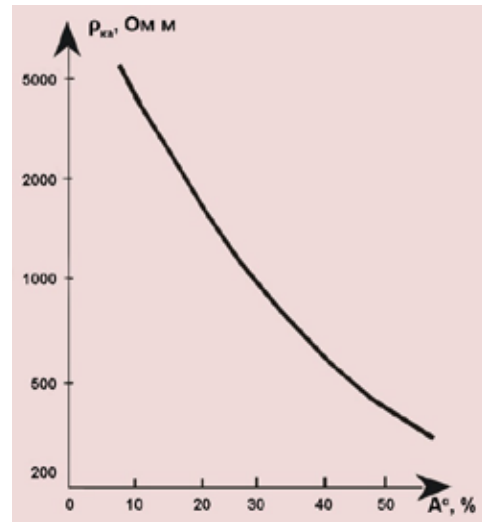
Рис. 2, а, показывает, что относительный параметр $J^{отн}$ спадает от зольности по экспоненте, т.е. $J^{отн} = \exp(-A^{\circ})$. Разлагая экспоненту в ряд и ограничиваясь первыми двумя членными, будем иметь

$$A^{\circ} = 1 - J^{отн}. \quad (6)$$

Сравнивая рис. 2, а, и 2, б, видим, что относительный параметр $J^{отн}$ связан с электрическим сопротивлением ρ_K через зольность A° линейным образом, типа $J^{отн} (\text{мкР/час}) = \phi \rho_K (\text{Ом м})$, где коэффициент ϕ осуществляет соотношение размерностей величин.



а)



б)

Рис. 2. Графики корреляционной связи относительного параметра J^{omn} (а) и электрического сопротивления ρ_k (б) с зольностью угольных пластов $A^o, \%$, [10]

Таблица 2

Результаты технического анализа (неполные данные) [11]

Номер пробы	Скважина	Угольный пласт	Глубина отбора проб	Технический анализ			
				Влажность W, %	Зольность $A^o, \%$	Выход летучих $V^{daf}, \%$	Удельный вес d, г/см^3
—	—	—	—	—	—	—	—
9	T5	K_{10}	426	1,36	10,7	23,4	1.48

Теперь обратимся к табл. 1 и возьмем значение глубины $h = 410$ м и удельного газовыделения $s_0 = 66 \text{ м}^3/\text{т}$ для пласта K_{10} , тогда по рис. 2, а, при $A^o = 10,7\%$ мы получим $(1 - J^{omn}) = 0,38$. Тогда в формуле (5) коэффициент $\chi = 1,7 \cdot 10^2$ и выражение (5) имеет вид

$$s_0 = 1,7 \cdot 10^2 \cdot (1 - J^{omn}) \quad (7)$$

Уравнение (7) можно использовать для измерения удельного газовыделения s_0 и тем самым по ее значению определять зону повышенной газоотдачи, способной к внезапному выбросу угля и метана. Теперь, подставляя в это уравнение относительный параметр J^{omn} для угольного пласта K_{10} , получим

$$J^{omn} \approx 0,61 \text{ мкР/час} \quad (8)$$

Таким образом, если относительный параметр $J^{omn} < 0,61$ (мкР/час), то угольный пласт в Карагандинском бассейне опасен к внезапным выбросам угля и газа, то есть он входит в зону с повышенной газоотдачей. Теперь сравним табл. 1 из взрывоопас-

ных зон с результатами из невзрывоопасных зон, представленных в табл. 3.

Таблица 3

Значения газопроницаемости угольных пластов по напластованию угольных пластов невзрывоопасных зон Карагандинского бассейна [11]

Пласт	Интервал глубин, м	Газопроницаемость, $\text{м}^2/\text{т}$
K_{10}	400	2,60
	600	0,31
	800	0,09
K_{12}	400	4,72
	600	0,59
	800	0,15
$D_1 - D_5$	400	9,95
	600	1,28
	800	0,32
D_6	400	6.61
	600	0,85
	800	0,22

Наибольшими значениями газопроницаемости по напластованию угольных пластов невзрывоопасных зон имеют пласт K_{12} и пласты долинской свиты D_1 , D_3 и D_6 . В Карагандинском бассейне глубина зоны газового выветривания составляет 50–230 м. На этих глубинах газоносность угольных пластов достигает 25–30 м³/т, а газоносность пород – 4–6 м³/т.

Сравнение табл. 1 и табл. 3 показывает, что угольные пласты взрывоопасных зон почти в 25–30 (пласт K_{10}) больше, чем у невзрывоопасных зон Карагандинского бассейна. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что вероятной причиной образования зон с повышенной газоотдачей считается, на наш взгляд, образование флюидизации ископаемых углей. Наряду с этим нужно учитывать и напряженно-деформированное состояние между угольным пластом и окружающей его породой.

Заключение

Описан экспериментальный метод использования гамма-метода для обнаружения зон с повышенной газоотдачей. Использование гамма-метода в скважинах с помощью прибора, который имеет детектор гамма-излучения и схему электроники. Эта схема питает индикатор, который служит для усиления принятых сигналов и передачу их кабелем на поверхность. Беря в качестве функции отклика Φ относительную интенсивность рассеянного гамма-излучения $J^{\text{отн}}$ с энергией E_γ , получаем уравнение, которое можно использовать для измерения удельного газовыделения s_0 . В результате получено, что если относительный параметр $J^{\text{отн}} < 0,61$ (мкР/час), то угольный пласт в Карагандинском бассейне опасен к внезапным выбросам угля и газа, то есть он входит в зону с повышенной газоотдачей.

Глубина угольных шахт и их простирание могут изменять сам механизм процесса выброса угля и газа. Изменяться может и процесс разрушения угольных пластов, включая их кровлю. Изменяться может и сам процесс газовыделения. Многие эти процессы пока не учитываются ни при ис-

следовании угольных пластов, ни при их добыче, поскольку каждый угольный пласт отличается даже от близлежащего степенью метаморфизма, мощностью пласта, влажностью и т.д.

Результаты проведенных исследований показывают, что их нужно обязательно сопоставлять с другими методами, проведенными в скважинах того же типа. Это могут быть методы акустического каротажа, методы электрического каротажа и пр.

Список литературы

1. Колесниченко Е.А., Колесниченко И.Е. Внезапные выбросы и взрывы метана: прогнозирование и предотвращение. Ростов н/Д.: Логос, 2005. 248 с.
2. Колесниченко Е.А., Артемьев В.Б., Колесниченко И.Е. Внезапные выбросы метана: теоретические основы. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013. 232 с.
3. Фельдман Э.П., Василенко Т.А., Калугина Н.А. Физическая кинетика системы угольный пласт – метан: массоперенос, предвыбросные явления // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 3. С. 46–65.
4. Булгаков Ю.Ф., Овчаренко В.Л. Проблемы безопасной разработки выбросоопасных пластов. Донецк, 2015. 84 с.
5. Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И. Механизм внезапных выбросов метана в угольных пластах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 1. С. 108–120.
6. Портнов В., Юров В., Рева М., Маусымбаева А., Иманбаева С. Наноструктуры в поверхностных слоях угольного вещества // Вестник Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Геология. 2021. № 4 (95). С. 54–62.
7. Портнов В.С., Юров В.М., Маусымбаева А.Д., Талерчик М.П., Желаяева Н.В. Использование геофизических методов исследования скважин для обнаружения зон с повышенной газоотдачей // Автоматика. 2014. № 1. С. 25–28.
8. Портнов В.С., Филимонов Е.Н., Ахматнуров Д.Р., Мусин Р.А., Маусымбаева А.Д. Оценка газоносности пласта K_{10} в условиях Шерубайнуринского участка на основе данных фактического газовыделения // Комплексное использование минерального сырья. 2016. № 2. С. 3–10.
9. Очкур А.П. Гамма-методы в рудной геологии. М.: Недра, 1976. 320 с.
10. Зубкова В.В., Еджейвич П., Гебска У. Влияние температуры нагрева на изменение удельного электросопротивления твердых остатков термической деструкции спекающихся углей // Кокс и химия. 2000. № 9. С. 16–22.
11. Зейнуллин А.А., Хасен Б.П., Ожогин Т.В., Крысин А.В., Лис С.Н. Ключевые параметры углей карагандинского бассейна для добычи метана угольных пластов // Геология и охрана недр. 2016. № 2 (59). С. 12–23.