

УДК 622.831.322:635

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Киселев Н. Н.

(НТЦ «ОН и С при УкрНИИМИ НАНУ», г. Донецк, Украина)

Радченко А. Г.

(МакНИИ, г. Макеевка, Украина)

Розглянуто результати досліджень ступеню мінливості ряду властивостей викиднебезпечних вугільних пластів та вмещаючих порід на трьох рівнях: мікро-, мезо- та макрорівні. На конкретних прикладах показано, що вірогідність та частота раптових викидів вугілля та газу росте зі збільшенням ступеню неоднорідності, ступеню мінливості ряду параметрів, що характеризують властивості та стан вугільних пластів.

The results of research into the variations of a number of properties of outburst-prone coal seams and enclosing rocks at three levels: micro-, meso- and macrolevels are described. Specific examples show that probability and frequency of sudden coal and gas outbursts increase with the increase in the variations of degree of heterogeneity and variations of some of the parameters that define properties and condition of coal seams.

Угольный пласт и вмещающие породы образуют сложную систему, поведение которой необходимо анализировать при проведении различных горных выработок. Согласно работе [1], поведение сложных систем должно рассматриваться на трех последовательных уровнях: микро-, мезо- и макроуровне, тем самым достигается объективное описание поведения системы.

В работе [2] отмечается, что геологические, тектонические, геомеханические и технологические факторы способствуют уси-

лению степени изменчивости угольного пласта. Обзор многочисленной литературы за последние тридцать пять лет показал, что вопросами изучения степени изменчивости свойств и состояния выбросоопасных угольных пластов уделяется недостаточное внимание, работы по этому направлению весьма малочисленны и противоречивы. Поэтому, целью настоящей работы является анализ степени изменчивости свойств выбросоопасных угольных пластов и вмещающих пород на трех последовательных уровнях: 1) микро-, 2) мезо-, 3) макроуровне и исследование связи между степенью изменчивости ряда свойств угольных пластов и их потенциальной выбросоопасностью.

1. С этой целью проанализируем на микроуровне как изменяется химический состав золы разновостановленных углей и вмещающих пород, для этого нами взяты исходные данные (табл. 1) из работы [3]. Согласно [3], угли Донбасса по степени их восстановленности делятся на следующие группы: весьма восстановленные - [вв], восстановленные - [в], промежуточные (или средневосстановленные) - [б], маловосстановленные - [а] и особо маловосстановленные - [оа].

В таблице 1 приведены значения восстановленных углей - [в] и маловосстановленных [а]. Кровля для углей групп [в] и [а] была представлена аргиллитами и углистыми аргиллитами, а почва была представлена алевролитами. В таблице 1 в числителе приведен диапазон изменения микрокомпонентов, а в знаменателе – среднее арифметическое его значение. Для каждого микрокомпонента нами были вычислены коэффициенты вариации по следующей формуле:

$$K_{вар} = \frac{(\alpha_{max} - \alpha_{min})100}{\bar{\alpha}}, \% \quad (1)$$

где $(\alpha_{max} - \alpha_{min})$ – максимальные и минимальные значения для каждого параметра микрокомпонента;

$\bar{\alpha}$ - среднее арифметическое значение параметра.

Таблица 1

Химический состав золы разновостановленных углей и
 вмещающих пород, согласно [3]

Окислы, зола, сера	Восстановленные угли - [в]			Маловосстановленные угли - [а]		
	Кровля	Угли [в]	Почва	Кровля	Угли [а]	Почва
SiO_2	<u>22,8–53,2</u>	<u>0,5–77,2</u>	<u>39,8–66,0</u>	<u>39,8–59,2</u>	<u>8,6–56,4</u>	<u>54,3–61,4</u>
	48,5	23,5	51,9	53,4	35,8	57,5
$K_v, \%$	62,7	326,4	50,5	36,3	133,5	12,3
Al_2O_3	<u>9,6–33,8</u>	<u>0,95–32,7</u>	<u>15,9–33,9</u>	<u>18,3–27,5</u>	<u>2,7–34,5</u>	<u>21,5–26,5</u>
	20,5	12,98	23,0	22,3	19,7	24,3
$K_v, \%$	118,0	244,6	78,3	41,3	161,4	20,6
Fe_2O_3	<u>4,4–19,5</u>		<u>1,0–7,0</u>	<u>2,6–11,6</u>		<u>1,79–3,0</u>
	7,2		4,3	5,5		2,2
$K_v, \%$	209,7		139,5	163,6		55,0
TiO_2		<u>0,05–1,24</u>			<u>0,14–1,30</u>	
		0,58			0,71	
$K_v, \%$		205,2			163,4	
CaO	<u>0,21–13,0</u>	<u>0,66–46,6</u>	<u>0,10–4,9</u>	<u>0,16–0,95</u>	<u>0,74–25,6</u>	<u>0,24–2,0</u>
	5,14	9,56	0,56	0,43	6,13	0,63
$K_v, \%$	248,8	480,5	857,1	183,7	405,5	279,4
MgO	<u>0,61–3,87</u>	<u>0,16–16,7</u>	<u>0,35–2,0</u>	<u>1,12–2,33</u>	<u>0,58–10,0</u>	<u>0,22–1,68</u>
	1,83	1,50	1,25	1,74	2,82	0,87
$K_v, \%$	178,1	1102,7	132,0	69,5	334,0	167,8
K_2O	<u>2,16–6,26</u>	<u>0,05–4,68</u>	<u>2,48–3,82</u>	<u>1,75–3,53</u>	<u>0,18–4,34</u>	<u>1,0–3,23</u>
	3,52	0,76	2,98	2,78	1,25	1,93
$K_v, \%$	116,5	609,2	45,0	64,0	332,8	115,5
MnO	<u>0,02–0,13</u>	<u>0,003–0,60</u>	<u>сл.–0,06</u>	<u>сл.–0,26</u>	<u>сл.–0,54</u>	<u>0,004–0,030</u>
	0,066	0,084	0,03	0,07	0,45	0,021
$K_v, \%$	166,7	710,7	200,0	371,4	120,0	123,8
$S_{об}^c$		<u>1,0–15,6</u>			<u>0,6–2,8</u>	
		4,0			1,08	
$K_v, \%$		365,0			203,7	

Анализ данных таблицы 1 показал, что угли более высокой стадии метаморфизма – типа [а] по сравнению с углями более низкой стадии метаморфизма – типа [в] характеризуются меньшими значениями коэффициентов вариации – $K_{вар}$. Таким образом, углям с более высокой стадией метаморфизма (по восста-

новленности) присуща более высокая степень однородности по микрокомпонентному составу, более высокая степень упорядоченности их структуры и меньшая степень изменчивости – меньший диапазон колебаний анализируемых микрокомпонентов.

Изменчивость микрокомпонентного состава вмещающих пород, которые примыкают к углям более высокой стадии метаморфизма - [а] также оказалась меньшей по сравнению с вмещающими породами, прилегающими к менее метаморфизованным углям – к восстановленным углям - [в]. Установленная закономерность хорошо подтверждается для пород кровли (табл. 1) и, как правило, за исключением отдельных случаев также и для пород почвы.

2. Проанализируем теперь, как изменяется ряд параметров, характеризующих выбросоопасность угольных пластов на мезоуровне. В условиях шахты «Красноармейская-Западная № 1» по пласту d_4 в блоке № 10 при проведении 3-го и 4-го южных конвейерных штреков были встречены ряд зон горно-геологических нарушений (ГГН). В указанных выработках выполнялся текущий прогноз выбросоопасности по начальной скорости газовыделения из шпуров – δ_n . С целью установления отличительных свойств по отдельно взятым участкам по пласту d_4 сравнивали участки с различной степенью изменчивости: 1) нарушенные участки, которые характеризовались наличием зон ГГН; 2) участки с нормальными условиями залегания угольного пласта d_4 . Сравнение вышеуказанных участков показало, что зоны ГГН характеризуются более высокими значениями среднего суммарного газовыделения δ_n по шпурам – $\sum \delta_{ин}$, а также более высокими колебаниями, значениями этого параметра по следующим показателям: дисперсии – σ^2 , среднеквадратическому отклонению – σ , коэффициенту вариации – $K_{вар}$. Зоны ГГН являются участками с повышенными значениями изменчивости по мощности, углам падения, крепости, δ_n и характеризуются более высокими значениями не только показателей $\sum \delta_{ин}$, σ^2 , σ , $K_{вар}$, но и имеют более высокие показатели по коэффициенту изменчивости параметров. Формулы для расчета коэффициентов изменчивости для отдельно анализируемого параметра приведены нами в работе [2].

Следует отметить, что установлено закономерное волнообразное, квазипериодическое чередование участков с повышенными и пониженными значениями показателя $\sum d_{um}$ как в зонах ГГН, так и в нормальных условиях залегания угольного пласта d_4 в блоке № 10. Установленные закономерности могут быть использованы для оценки степени выбросоопасности: а) отдельных участков угольных пластов; б) зон геологических нарушений.

Природная неоднородность метаноносных угольных пластов определяет локальность проявления выбросоопасности и является важным геологическим фактором, который необходимо обязательно учитывать при оценке степени выбросоопасности отдельных участков шахтопласта, [5]. Проанализируем результаты экспериментальных исследований, которые были выполнены в условиях шахты «Запореваляная № 2» ПО «Донецкуголь» на особо выбросоопасном пласте h_8 – «Прасковиевский». Согласно [5], по состоянию на 01.01.1993 года на пласте h_8 было зарегистрировано 405 выбросов, в том числе 36 – в лавах при струговой выемке и 369 – в подготовительных выработках, проводимых с помощью буро-взрывных работ в режиме сотрясательного взрыва. При проведении одиночных 46-й и 51-й бортовых выработок по мере подвигания забоев измеряли величину зоны разгрузки l_p по пласту h_8 , определяемую по динамике начальной скорости газовыделения из шпуров – d_n , также определяли процентное содержание гелия в составе газов, отобранных из шпуров – He . Кроме этого, отбирали пробы угля и определяли по ним следующие показатели: весовой выход летучих веществ – V^{daf} , содержание аналитической влаги – W_a , зольность угля – A_t^d . Всего было отобрано 99 проб на участках подвигания выработок, в том числе 23 пробы угля в пластах, образовавшихся в результате произошедших семи выбросов угля и газа. Анализ полученных данных показал, что выбросоопасные участки отличаются более высокими значениями коэффициентов вариации по V^{daf} и W_a , смотри таблицу 2.

Таблица 2

Изменения V^{daf} и W_a на неопасных и выбросоопасных участках пласта h_8

Анализируемые параметры и их $K_{вар}$	Неопасные участки	Выбросоопасные участки
V^{daf} , %	11,0	11,6
K_b , %	8,0	9,0
W_a , %	0,7	1,4
K_b , %	29,0	56,0

При проведении 51-й бортовой выработки по пласту h_8 определяли процентную концентрацию гелия в составе газов – He , %. В результате исследований, выполненных на экспериментальном участке протяженностью 160 м, удалось выделить две разновидности зон, в которых содержание гелия отличалось весьма значительно. Одна выборка характеризовалась изменением содержания гелия в следующем диапазоне: $He=0,1040-0,2600$ %, а вторая – в диапазоне $He=0,0000-0,0110$ % [5]. Таким образом, наблюдается чередование участков с высокой и низкой концентрациями гелия. Следует особо подчеркнуть, что как в условиях шахты «Красноармейская – Западная № 1» по пласту d_4 , так и в условиях шахты «Заперевальная № 2» по пласту h_8 наблюдаются участки с различной природной газоносностью, с различной степенью изменчивости параметров d_n , He и др.

3. Далее проанализируем, как изменяется ряд параметров, характеризующих свойства угольных пластов, на макроуровне, т.е. на региональном уровне. На повышенную изменчивость приведенной прочности - $P_{пр}$ и степени нарушенности - $C_{нар}$ выбросоопасных угольных пластов Донбасса указывается в работе [6]. Так, например, согласно [6] значения коэффициентов вариации приведенной прочности составляют: для неопасных пластов $K_{вар}=44,4$ %, а для выбросоопасных пластов $K_{вар}=51,0$ %.

Проанализируем, как изменяется на региональном уровне весовой выход летучих веществ V^{daf} – по группам метаморфизма углей: 1) по маркам углей; 2) по типам восстановленности углей

каждой марки. Исходные данные для анализа взяты нами из работы [4] и приведены в таблице 3.

Нами для каждой марки углей были рассчитаны коэффициенты вариации для различных типов углей по степени их восстановления, смотри таблицу 3. Из таблицы 3 следует, что угли марок 4ж и 5к, которые характеризуются наиболее высокой фактической частотой и вероятностью проявления внезапных выбросов угля и газа имеют и самые высокие, максимальные значения $K_{var}(V^{daf})$, т.е. коэффициентов вариации по параметру V^{daf} . Из таблицы 3 также следует, что среднее арифметическое значение V^{daf} для каждой марки углей по мере роста степени метаморфизма от углей типа [вв] – весьма восстановленных к углям особо маловосстановленным – [оа] закономерно уменьшается. Коэффициент вариации по V^{daf} – $K_{var}(V^{daf})$ для углей марок: 1Д, 2Г, 4Ж, 5К, 6ОС от углей типа [вв] нарастает к углям типа [б] – промежуточным по степени восстановления, а затем уменьшается к углям типа [оа], т.е. к более метаморфизованным.

Следует отметить, что для марки углей 4Ж максимальные значения $K_{var}(V^{daf})$ наблюдаются для углей типа [в], $K_{var}=33,3\%$ и для углей типа [б], $K_{var}=34,4\%$. Для углей марки 5К максимальные значения $K_{var}(V^{daf})$ наблюдаются для типов углей [б, а, оа].

Необходимо отметить, что для углей марок 5К, 6ОС наблюдается волнообразное изменение $K_{var}(V^{daf})$, так для марки 5К наблюдается три максимума значений $K_{var}(V^{daf})$, а для марки углей 6ОС – характерные два максимума значений $K_{var}(V^{daf})$.

Следует отметить, что волнообразное изменение свойств угольных пластов происходит не только на макро- и мезоуровнях, оно присутствует и на микроуровне. Согласно работе [3], на микроуровне наблюдается волнообразное изменение микротвердости витринита углей регионального ряда метаморфизма. По данным работы [3], диапазон вариаций микротвердости витринита сужается, становится меньшим от бурых углей (Б) к антрацитам (А), т.е. к более метаморфизованным и более однородным по своему составу углям.

Таблица 3

Изменение параметра V^{daf} в зависимости от степени метаморфизма углей

Марки углей	V^{daf} для различных типов углей по степени их восстановления				
	<i>oa</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>вв</i>
1Д	35,9 – 36,4	36,8 – 40,6	38,8 – 43,1	43,5 – 47,6	47,4 – 50,4
$K_{вар}, \%$	36,1 1,4	38,4 9,9	40,9 10,5	44,5 9,2	49,0 6,1
2Г	32,9 – 36,7	35,9 – 40,1	38,3 – 44,8	41,3 – 45,5	44,6 – 47,0
$K_{вар}, \%$	35,0 10,9	37,2 11,3	40,8 13,5	43,2 9,7	45,9 5,2
3Г	29,0 – 34,4	32,0 – 38,3	35,4 – 40,8	37,7 – 42,7	40,6 – 45,8
$K_{вар}, \%$	32,3 16,7	35,0 18,0	38,1 14,2	40,7 12,3	42,9 12,1
4Ж	26,0 – 31,8	26,4 – 34,7	26,8 – 37,5	28,1 – 38,9	29,5 – 38,6
$K_{вар}, \%$	28,1 20,6	30,2 27,5	31,1 34,4	32,4 33,3	33,6 27,1
5К	18,6 – 24,7	19,4 – 25,9	19,9 – 27,9	24,5 – 26,9	22,5 – 27,7
$K_{вар}, \%$	20,9 29,2	22,5 28,9	23,5 34,0	26,0 9,2	26,5 19,6
6ОС	15,2 – 15,5	16,8 – 18,6	16,2 – 19,1	18,5 – 19,7	18,0 – 20,0
$K_{вар}, \%$	15,3 2,0	17,1 10,5	18,0 16,1	19,0 6,3	19,0 10,5

*Примечание: В числителе даны пределы изменения V^{daf} , а в знаменателе – среднее арифметическое значение V^{daf} .

Согласно [3], наблюдается три максимума значений микро-твердости витринита: 1-й – для бурых углей типа Б₂, Б₃, затем 2-й – для жирных углей типа Ж, и, наконец, 3-й максимум наблюдается для антрацитовых углей типа А.

Выводы.

1. Повышенная природная неоднородность отдельных участков выбросоопасных угольных пластов обуславливает более высокую изменчивость ряда параметров, характеризующих свойства пласта на данном участке, и тем самым является причиной локальности выбросоопасности.

2. Отдельные участки выбросоопасных шахтопластов, отличающиеся более высокими степенью изменчивости и диапазона-

ми вариаций свойств по пласту, характеризуются и более высокой степенью потенциальной выбросоопасности.

3. Степень изменчивости микрокомпонентного состава углей и вмещающих пород может быть использована при:

а) оценке степени изменения метаморфизма угольных пластов с разными марками углей;

б) при оценке степени восстановленности одной определенной марки угля;

в) оценке степени неоднородности строения и степени изменчивости свойств вмещающих пород.

4. Вероятность и частота внезапных выбросов угля и газа растет прямо пропорционально увеличению степени неоднородности, степени изменчивости ряда свойств и состояний угольных пластов.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Хакен Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
2. Применение синергетического подхода к установлению особенностей формирования выбросоопасности в условиях пологих нарушенных угольных пластов Донбасса // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 5 (частина 1) / Під заг. ред. А.В. Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2009, С. 373-382.
3. Метеморфизм углей и эпигенез вмещающих пород. Под ред. Г.А. Иванова. – М.: Недра, 1975, 256 с.
4. Левенштейн М.Л., Очкур Н.П., Узиюк В.И. Угли Донецкого бассейна в системе проекта петролого-геохимической классификацию // Угольные бассейны и условия их формирования. - М., Наука, 1983.
5. Николин В.В., Гурин Н.И., Радченко А.Г. Природная неоднородность метаносных угольных пластов как фактор, определяющий разработку и надежность критериев выбросоопасности // Рекомендации по повышению надежности оценки вы-

- бросоопасности призабойной части угольного пласта. – Макеевка, Донбасс, 1993, С. 3-18.
6. Иванов Б.М., Фейт Г.Н., Яновская М.Ф. Механические и физико-химические свойства углей выбросоопасных пластов. – М.: Наука, 1979, 195 с.